

МАШИНОСТРОЕНИЕ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕСУРСΟΣБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»

06–10 апреля 2009 года

Выпуск 25

М и н с к 2 0 1 0

621.7

УДК 621 (082)

ББК 34.4я43

М 38

Сборник основан в 1976 году

Редакционная коллегия:

Б. М. Хрусталеv (председатель), Ф. И. Пантелеенко (зам. председателя),
Ф. А. Романюк (зам. председателя), П. П. Анципорович,
И. М. Бабук, И. Л. Баршай, А. И. Бачанцев (отв. секретарь), Г. Я. Беляев,
Ю. В. Василевич, В. А. Данилов, О. Г. Девойно,
Э. М. Дечко, С. А. Иващенко, М. М. Кане, В. М. Колешко,
А. И. Кочергин, М. И. Михайлов, Ж. А. Мрочек, М. Ф. Пашкевич,
В. И. Похабов, А. Ф. Присевок, В. А. Сидоренко, А. Т. Скойбеда,
Н. В. Спиридонов, В. И. Туромша, И. П. Филонов, И. С. Фролов,
А. В. Чигарев, В. И. Шагун, В. К. Шелег, А. М. Якимович

Под ред. Б. М. Хрусталева

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор Н. Н. Попок,
доктор технических наук, профессор В. С. Ивашко

В сборнике представлены результаты исследований различных процессов механической обработки деталей и технологии их изготовления. Изложены новые принципы проектирования некоторых инструментов, станков и другого технологического оборудования. Приведены результаты работ по электрофизическим и электрохимическим способам обработки материалов. Представлены некоторые направления развития механики структур и материалов. Рассмотрены проблемы динамики и прочности машин. Изложены актуальные вопросы экономики машиностроительного производства, инженерной педагогики и психологии.

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕОРИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ, МЕТОДИКА ПРЕПОДАВАНИЯ ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ДИСЦИПЛИН.....	8
<i>Авсиевич А.М., Реут Л.Е., Николаев В.А., Адаменко Д.В.</i> АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ФАКТОРОВ ИЗНОСА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	8
<i>Анципорович П.П., Авсиевич А.М., Кудин В.В.</i> АНАЛИЗ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН У СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ» И «АВТОСЕРВИС».....	11
<i>Якубовский А.Ч., Якубовский Ч.А.</i> ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАЧ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ КОМПАС–3D	14
<i>Булова П.В., Астахов Э.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «AUTOCAD» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА.....	17
<i>Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М.</i> КИНЕМАТИКА РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ВХОДНЫМ ПОРШНЕМ	21
<i>Гарах В.А., Астахов Э.И.</i> ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ И АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА НОЖНИЧНОГО ПОДЪЕМНИКА	24
<i>Астахов Э.И., Гарах В.А.</i> ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И КИНЕМАТИКИ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА НОЖНИЧНОГО ПОДЪЕМНИКА	27
<i>Кудин В.В., Астахов Э.И., Кудин М.В.</i> РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ РАБОЧИХ ПЛОЩАДОК ПОД УСТАНОВКУ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ.....	31
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	33
<i>Кане М.М., Медведев А.И., Иванов Б.В.</i> АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН ПРИ ИХ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ	33
<i>Шелег В.К., Присевок А.Ф., Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ	36
<i>Беляев Г.Я., Ильясевич Е.Г.</i> КОМПЛЕКСНЫЙ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ФЛАНЦА.....	41
<i>Шумова Е.А.</i> РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С УЧЁТОМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОВ ПРИПУСКОВ	48
<i>Луговой В.П.</i> СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДОВОДКЕ.....	54
<i>Кривко Г.П.</i> ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ.....	58
<i>Шелег В.К., Присевок А.Ф., Куптель В.Г.</i> УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	64

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.....	68
<i>Харченко В.В., Мрочек Ж.А. АДГЕЗИЯ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ.....</i>	68
<i>Ежеников Г.Г., Мишкина М.А., Опекунова Т.Э., Панков А.Б., Жук Г.В. ГАЗОПЛАМЕННЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ</i>	71
<i>Адаменко Д.В. (студент гр. 103415), Сокоров И.О. К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ.....</i>	76
<i>Максимченко Н.Н. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПЛАКИРОВАНИЯ.....</i>	82
<i>Сокоров И.О., Спиридонов Н.В., Володько А.С., Пилецкая Л.И. ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОПОРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ВАЛОВ.....</i>	86
<i>Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К., Луцко Н.И. ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ.....</i>	92
<i>Фролов И.С., Иващенко С.А., Мрочек Ж.А. ФОРМИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ НА ДЕТАЛЯХ ИЗ НЕМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ</i>	96
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ МАШИН	103
<i>Николаев В.А., Апетёнок П.А., Абу Сахьюн Вассим ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАШИННОГО АГРЕГАТА С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ.....</i>	103
<i>Зубко С.А. КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАЗРЫВ</i>	106
<i>Дудяк А.И., Сахнович Т.А., Евдокимова В.С. НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ ПРЯМОГО СТЕРЖНЯ</i>	108
<i>Апетёнок П.А., Абу Сахьюн Вассим, Николаев В.А. ПРИМЕНЕНИЕ ПК В ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЁТЕ МНОГОЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА В ПРИЛОЖЕНИИ EXCEL</i>	112
<i>Капуста П.П., Швец И.В. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПРОКАТНЫХ ОПОР</i>	114
<i>Ларченков Л.В., Протасеня М.Л., Протасеня И.О., Ларченкова Ю.В. ТРАЕКТОРИЯ МЕТАНИЯ СТРУКТУРНОГО ТЕЛА</i>	121
<i>Дудяк А.И., Сахнович Т.А. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ.....</i>	127
ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫМ ПРОИЗВОДСТВОМ	130
<i>Плясунков А.В., Криволапова В.В. АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	130
<i>Лавренова О.А., Демянчик Д.В., Красавин Е.Н. АНАЛИЗ ПУТЕЙ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ НА СОЗДАНИЕ И ПОДДЕРЖКУ ВЕБ-САЙТА КОМПАНИИ</i>	136
<i>Плясунков А.В., Криволапова В.В. АПРОБАЦИЯ УТОЧНЁННОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ</i>	141

<i>Акунец В.П., Ивашин Э.Я.</i> ВНУТРИФИРМЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАК СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НОРМАТИВОВ.....	146
<i>Адаменкова С.И., Комина Н.В.</i> ДЕБИТОРСКАЯ И КРЕДИТОРСКАЯ ЗАДОЛЖЕННОСТЬ ПО МСФО. КРИТЕРИИ ПРИЗНАНИЯ	149
<i>Бутковская В.П.</i> КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГА.....	152
<i>Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.</i> О ВОЗМОЖНОСТЯХ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ.....	154
<i>Похабов В.И., Прокопенко Л.В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ	157
<i>Костюкевич Е.Н.</i> ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ	162
<i>Лавренова О.А., Бгчанцева Е.А.</i> ОСОБЕННОСТИ РЕКЛАМЫ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА	166
<i>Костюкевич Е.Н.</i> ПАТЕНТНО-ЛИЦЕНЗИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	172
<i>Комина Н.В.</i> СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ ОТЧЕТНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА И МСФО	178
МЕХАНИКА СТРУКТУР И МАТЕРИАЛОВ	183
<i>Мойсейчик Е.А.</i> ИЗМЕНЕНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ СВАРКЕ	183
<i>Клус С.А.</i> ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ И РАДИАЦИОННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ НА НДС ПОЛОГО ДЛИННОГО ЦИЛИНДРА	190
<i>Мойсейчик Е.А., Стефанович Р.В., Филатов С.А.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНОЙ РАМЫ ПО СОБСТВЕННОМУ ТЕПЛОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ МАТЕРИАЛА	193
<i>Якубовский А.Ч., Якубовский Ч.А., Галуза И.М.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО ТЕЛА НАМОТКИ	197
<i>Василевич Ю.В., Неумержицкий В.В., Неумержицкая Е.Ю., Кардович Н.Б., Мелешко Л.Е.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ, ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИНОВЫХ ПОДШПАЛЬНЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ.....	202
<i>Василевич Ю.В., Мойсейчик Е.А., Язневич А.М.</i> КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ	205
<i>Мойсейчик Е.А.</i> МАКРОСТРУКТУРА АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ	214
<i>Чигарев А.В., Шукевич Т.В., Ручан М.В.</i> МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КАБИНЫ В УПРУГО-ПЛАСТИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ ПОСРЕДСТВОМ КЭ ПАКЕТА ANSYS	218
<i>Дикан Ж.Г., Ларченков Л.В.</i> МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ ТРУКТУР	222
<i>Хмельев А.А., Галуза И.М.</i> О ЕДИНОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ НАДРЕЗОВ ПРИ УДАРНОМ ИЗГИБЕ.....	227
<i>Чигарев А.В., Ручан М.В., Шукевич Т.В.</i> ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПАКЕТА ANSYS ДЛЯ РАСЧЕТА БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ.....	231
<i>Василевич Ю.В., Мойсейчик Е.А., Язневич А.М.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ С КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ	236

<i>Ширвель П.И.</i> ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ЭРИ В ПРОЧНОСТНОМ РАСЧЕТЕ ТВЭЛОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА.....	244
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ.....	253
<i>Шагун В.И., Чарторийский А.В.</i> ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТЧИКА НА ОТКЛОНЕНИЯ ПОЛОВИНЫ УГЛА ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ В СТАЛИ.....	253
<i>Беляева Г.И., Беляев Г.Я., Кочергин А.И., Присевок А.Ф.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ВЕЛИЧИНУ УГЛА СХОДА СТРУЖКИ.....	258
<i>Ажар А.В., Ермакович И.В., Ратько Е.Ф.</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ ДИАМЕТРОМ 125 И 160 ММ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАКТОРА МТЗ НА СТАНКАХ С ЧПУ.....	262
<i>Туромша В.И., Довнар С.С., Туми Эль-Мабрук Абужафер Али</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРОДОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПОДВИЖНЫМ ПОРТАЛОМ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ	270
<i>Кочергин А.И., Беляева Г.И.</i> МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЗАГОТОВОК РЕЗАНИЕМ	278
<i>Бачанцев А.И., Королько С.В., Туромша В.И.</i> ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ПОДАЧИ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ВЛИЯНИЕ ЕЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ	279
<i>Ажар А.В., Кочергин А.И., Ратько Е.Ф.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ НА ПРИМЕРЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЗЕНКЕРОВ.....	283
<i>Бачанцев А.И., Ильютик А.А., Туромша В.И.</i> ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	291
<i>Балыко И.С., Колесников Л.А., Корниев М.А.</i> ОЦЕНКА РАДИУСА СКРУГЛЕНИЯ КРОМКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА.....	296
<i>Устинович Д.Ф., Прибыльский В.И.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДИСКОВЫМИ АБРАЗИВНЫМИ ЩЕТКАМИ.....	298
<i>Присевок А.Ф., Кашталян И.А., Клавсуть П.Н.</i> ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ.....	301
<i>Цыганков Л.Е., Туромша В.И.</i> ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРАВКИ КРУГА ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ.....	307
<i>Данилов В.А.</i> СИНТЕЗ ВНУТРЕННИХ СВЯЗЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ГРУПП ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ	312
<i>Романюк Г.Э., Савенко Н.В.</i> СИСТЕМА ПОПОЛНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЛОВАРЕЙ	318
<i>Фельдштейн Е.Э.</i> СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРАВКИ ФАСОННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ АЛМАЗНЫМИ ПРАВЯЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ	323
<i>Дечко Э.М., Зюзенок В.П., Heidebrecht P.</i> СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ	328

<i>Романюк Г.Э., Романюк С.И., Шелег В.А. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РУССКОГО И АНГЛИЙСКОГО ТЕСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКОНОВ ЗИПФА</i>	<i>330</i>
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ: НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОСИСТЕМЫ.....	335
<i>Колешко В.М., Гулай А.В., Польшкова Е.В., Гулай В.А. ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В СОЗДАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ.....</i>	<i>335</i>
<i>Сунка В.Я., Польшкова Е.В., Колешко Л.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ-ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛОВ.....</i>	<i>340</i>
<i>Колешко В.М., Воробей Е.А., Азизов П.М., Худницкий А.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА С АНАЛИЗОМ МОЗГОВЫХ ВОЛН НА ПРОИЗВОДСТВЕ</i>	<i>346</i>
<i>Колешко В.М., Сунка В.Я., Худницкий А.А. ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ МЕТОДАМИ.....</i>	<i>354</i>
<i>Колешко В.М., Гулай А.В., Гулай В.А., Ульянов В.Б. МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КВАНТОВОГО НАНОСЕНСОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ МИКРОЧАСТИЦ</i>	<i>360</i>
<i>Колесников Л.А. ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ МЕТАЛЛОВ</i>	<i>366</i>
<i>Колешко В.М., Воробей Е.А., Сизигрев С.А. УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МОЗГОВЫМИ ВОЛНАМИ</i>	<i>371</i>
<i>Колешко В.М., Сунка В.Я., Качан В.В. ШИРОКОПОЛОСНЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ.....</i>	<i>376</i>
РЕФЕРАТЫ.....	382

УДК 621.01

Авсиевич А.М., Реут Л.Е., Николаев В.А., Адаменко Д.В.

АЛГОРИТМИЗАЦИЯ РАСЧЕТОВ ФАКТОРОВ ИЗНОСА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАР РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Процесс изнашивания элементов кинематических пар рычажных механизмов не может быть адекватно описан без учета динамики изменения внешних сил и кинематических параметров. Их непостоянство обусловлено самой конструкцией таких механизмов. Авторы [1,2] доказали, что этим обуславливается неравномерность распределения износа по поверхности реальных пар трения. Развитие данного подхода позволяет более точно определить значения факторов износа, таких как контактное давление и относительная скорость скольжения для каждой точки поверхности трения.

Основой расчета нагруженности вращательной кинематической пары является проведение кинематического и динамического анализа механизма аналитическим методом [3]. В результате данного анализа для соединенных в рассматриваемой паре звеньев 1 и 2 определяются угловые скорости ω_1 и ω_2 , относительная скорость вращения $\omega_{21} = -\omega_{12}$ проекции реакций между звеньями: $F_{21}^{x0} = -F_{12}^{x0}$, $F_{21}^{y0} = -F_{12}^{y0}$, углы направления данных реакций

$\varphi_{F12}^0 = 180 + \varphi_{F21}^0$ в неподвижной системе координат (рис. 1).

Так как для большинства механизмов характерен циклический характер работы, рассчитанные значения представляются в виде массивов как зависимости от обобщенной координаты φ с заданным шагом $\Delta\varphi$.

Для определения нагруженности локальных участков сопряженных во вращательной паре поверхностей необходимо знать ориентацию векторов реакций F_{21} и F_{12} относительно звеньев 1 и 2 в каждый момент цикла. Алгоритм расчета углов наклона и проекций векторов реакций

$(F_{12}^{x1}, F_{12}^{y1}, \varphi_{F12}^1)$ в локальной системе координат связанной с подвижным звеном 1 и аналогичных параметров в системе координат связанной с подвижным звеном 2 $(F_{21}^{x2}, F_{21}^{y2}, \varphi_{F21}^2)$ при известной ориентации реакций относительно стойки описан в [4].

Далее в результате дифференцирования уравнений

$$\begin{cases} \varphi_{F21} = \arccos \frac{F_{21}^x}{F_{21}} \\ \varphi_{F21} = \arcsin \frac{F_{21}^y}{F_{21}} \end{cases} \text{ или } \begin{cases} \varphi_{F12} = \arccos \frac{F_{12}^x}{F_{12}} \\ \varphi_{F12} = \arcsin \frac{F_{12}^y}{F_{12}} \end{cases},$$

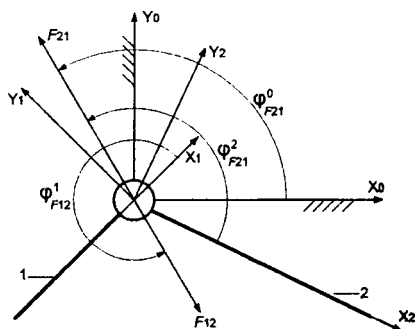


Рис. 1. Схема сил реакций во вращательной кинематической паре в неподвижной и подвижных системах координат

определяется скорость изменения направления вектора реакции $\omega_F = d\varphi_{F21} / dt = d\varphi_{F12} / dt$. Расчет данного параметра может вестись по значениям проекций реакций как в подвижной, так и в неподвижной системе координат. Рассматривая динамику силового взаимодействия во вращательной кинематической паре, проиллюстрированную на рис. 2, можно заметить, что приращение угла $d\varphi_{F21}$ обуславливается поворотом результирующего вектора внешних сил относительно звена.

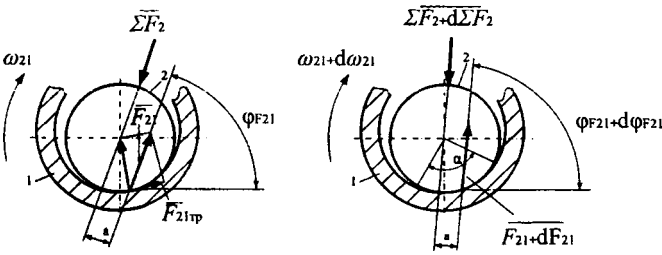


Рис. 2. Динамика изменения сил во вращательной кинематической паре

Это приводит к обкатыванию наружной и внутренней поверхностей друг по другу. Смещение направления реакции F_{21} относительно оси пары (величина a) определяется коэффициентом трения, поэтому оно может быть принято постоянным. Вращательная пара представляет собой сопряжение наружной и внутренней цилиндрических поверхностей с зазором. В таких условиях контакт поверхностей происходит в секторе, ограниченном углом контакта α (рис.2, б), величина которого согласно исследованиям [5] составляет при минимальном зазоре не более 100° . Поэтому в каждый момент времени усилие между звеньями воспринимается локальными участками, прилегающими к точке приложения реакции.

Параметр ω_F определяет скорость, с которой точка поверхности данного звена выходит из контакта с поверхностью другого звена. С другой стороны, относительная скорость $\omega_{21} = -\omega_{12}$ определяет угловое перемещение звеньев относительно друг друга за данный промежуток времени. Для точки поверхности звена отношение этих угловых скоростей может быть записано в виде

$$\lambda_{21} = \frac{\omega_{21}}{\omega_F} = \frac{d\varphi_{21}}{d\varphi_{F21}} \text{ для звена 2}$$

или

$$\lambda_{12} = \frac{\omega_{12}}{\omega_F} = \frac{d\varphi_{12}}{d\varphi_{F12}} \text{ для звена 1 .}$$

Данное отношение является параметром, характеризующим путь трения для точки звена за время нахождения ее в контакте. Параметр λ может принимать значения от 0, когда относительное скольжение отсутствует, происходит только обкатывание, до ∞ , когда вектор реакции меняет направление движения, обкатывания нет, имеет место скольжение. Чем больше λ , тем больший путь трения проходит точка поверхности за один цикл работы механизма. Знак λ указывает на направления ω_{21} и ω_F относительно друг друга, что, вероятно, влияет на процесс взаимодействия поверхностей и интенсивность изнашивания. Для выявления участков поверхности трения с вероятно максимальной интенсивностью изнашивания следует сопоставлять для них значения реакций, параметра λ и произведений $\lambda_{21} \cdot F_{21}$ и $\lambda_{12} \cdot F_{12}$. Процесс изнашивания при наложении относительного скольжения и взаимного обкатывания поверхностей требует экспериментального изучения.

Зная ориентацию векторов реакций относительно подвижных звеньев, для каждого i -го элементарного участка поверхности, определяемого в результате разбиения с заданным угло-

вым шагом можно определить значения углом контакта α . Затем, задаваясь законом распределения давлений, определяют значения контактных давлений p в зоне, прилегающей к точке приложения реакции. Методика данных расчетов описана в [6,7]. Проведя указанные расчеты для множества положений механизма с принятым шагом по обобщенной координате $\Delta\varphi$, для каждого i -го элемента поверхности звена можно определить зависимость контактного давления от обобщенной координаты $p(\varphi)$. Зная законы движения звеньев 1 и 2 определяем функцию угла их поворота относительно друг друга $\varphi_{21}(\varphi)$ или $\varphi_{12}(\varphi)$, т.е. зависимость углового пути от обобщенной координаты. Теперь, исключая параметр φ , для i -го элемента поверхности звена получаем зависимость давления от углового пути трения $p_1(\varphi_{12})$ или $p_2(\varphi_{21})$. График данной функции наглядно покажет на протяжении какого углового пути данный элемент поверхности будет испытывать воздействие факторов износа в пределах одного цикла работы механизма. При этом усредненное значение давления за цикл, например, для элемента поверхности звена 2 может быть вычислено по формуле

$$p_{2CP} = \frac{\int_{\varphi_{21}^H}^{\varphi_{21}^K} p_2 \cdot d\varphi_{21}}{\varphi_{21}^H - \varphi_{21}^K},$$

где φ_{21}^H и φ_{21}^K — соответственно момент начала и конца контакта элемента с сопряженной поверхностью. По аналогичному алгоритму для каждого i -го элемента поверхности звена могут быть получены зависимости от углового пути трения для параметра λ_{12} и λ_{21} , относительной угловой скорости $\omega_{21} = -\omega_{12}$, скорости изменения направления вектора реакции ω_F . Это позволит с высокой точностью спрогнозировать распределение износа по поверхностям сопряженных деталей, учесть данные факторы при конструировании, а также разработке технологий упрочнения пар трения.

Важным для повышения точности расчетов факторов износа является учет распределения контактных давлений в осевом направлении. Это необходимо для множества значений обобщенной координаты проводить расчет вала и втулки звеньев 2 и 1 как статически определяемых балок с учетом перекосов и прогибов. В результате должны быть получены эпюры распределения давлений в осевом направлении. Зная интенсивность распределения давлений на поверхности контакта, по формулам из [8] можно определить главные нормальные напряжения в локальных участках зоны контакта звеньев. Это позволит перейти к анализу объемного напряженного состояния и оценке вероятности возникновения дефектов, обуславливающих процесс изнашивания.

В поступательной кинематической паре неравномерность изнашивания поверхностей обусловлена в первую очередь перекосом звеньев. Методика расчета контактных давлений на разных участках поверхностей трения для этого случая описана в [9]. Теоретически, аналогично описанному выше параметру ω_F для вращательных пар, в поступательной паре с направлением движения звеньев отличным от вертикального возникает скорость перемещения точки приложения реакции относительно звеньев V_{F21} (рис. 3).

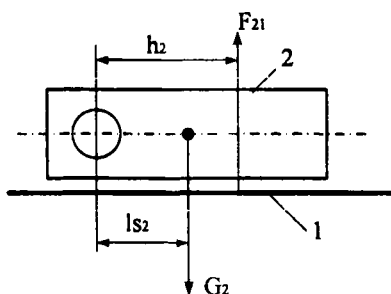


Рис. 3. Схема приложения сил звена поступательной пары

Данный параметр вместе со скоростью относительного перемещения звеньев определяет скорость перемещения участка контактного взаимодействия по поверхностям 1 и 2. Она определяется дифференцированием выражения

$$V_{F21} = \frac{dh}{dt} = \frac{d\left(\frac{G_2 l_{s2}}{F_{21}}\right)}{dt}.$$

В реальных парах действуют не сосредоточенные силы, а соответствующие им распределенные нагрузки. Зона контактного взаимодействия соответствует размеру меньшего из звеньев пары. Поэтому скорость V_{F21} не оказывает существенного влияния на процесс изнашивания. Возможно, данный параметр оказывает влияние на динамику нагружения локальных участков звеньев поступательных пар с малой жесткостью или нерегулярным в осевом направлении профилем, однако этот вопрос требует дополнительного исследования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Патент РФ. RU 2107902 C1 1998.03.27. Способ повышения долговечности деталей подвижных соединений механизмов машин. Филонов И.П., Черкас А.А. 1998.03.27. Бюл. № 9.
2. Повышение долговечности трущихся элементов вращательных кинематических пар механизмов машин на основе моделирования их износа / И.П. Филонов, П.П. Анципорович, В.К. Акулич., Т.И. Булгак // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 2. / под общ. Ред. П.А. Витязя. В 7 томах. Т. 4.— Мн.: УП «Технопринт», 2004. — С. 127 — 132.
3. Теория механизмов и механика машин / Под ред. К.В.Фролова. — 3-е изд., стер. — М.: Высш. шк., 2001. — 496 с.
4. Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М. К вопросу об определении износа во вращательных кинематических парах рычажных механизмов // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей. Вып. 23. — Мн: БНТУ, 2008 — С. 178 — 181.
5. Кравчук А.С., Чигарев А.В. Механика контактного взаимодействия тел с круглыми границами. — Мн.: Технопринт, 2000. — 196 с.
6. Определение максимальной удельной нагрузки в паре «опорная поверхность вала — втулка подшипника» / Н.В. Спиридонов, И.О. Сокоров, В.В. Коробейников, Л.И. Пилецкая // Машиностроение. Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 23. / под ред. Б.М. Хрусталева. — Мн.: БНТУ, 2007. — С. 243 — 247.
7. Проников А.С. Надежность машин. — М.: Машиностроение, 1978. — 592 с.
8. Соппротивление материалов. Под ред. Г.С. Писаренко. — Киев, 1979. — 693 с.
9. Моделирование износа элементов поступательных кинематических пар с учетом перекосов в направляющих / И.П. Филонов, П.П. Анципорович, В.К. Акулич., Т.И. Булгак // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб науч. тр. Вып. 2. / под общ. Ред. П.А. Витязя. В 7 томах. Т. 4.— Мн.: УП «Технопринт», 2004. — С. 133 — 136.

УДК 621.01

Анципорович П.П., Авсиевич А.М., Кудин В.В.

АНАЛИЗ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПО ТЕОРИИ МЕХАНИЗМОВ И МАШИН У СТУДЕНТОВ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ «ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ» И «АВТОСЕРВИС»

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Курс теории механизмов и машин (ТММ) является одним из основных в общепрофессиональной подготовке инженеров-механиков. Для большинства механических специ-

альностей БНТУ ТММ является первой общетехнической дисциплиной, появляющейся в учебных планах после изучения базовых инженерных наук: физики, теоретической механики, сопротивления материалов. Согласно определению «Теория механизмов и машин» – наука об общих методах проектирования и исследования машин и механизмов, ее изучение позволяет связать полученные фундаментальные знания с объективной практической подготовкой. Знания и умения, полученные при изучении дисциплины ТММ, необходимы при освоении последующих специальных дисциплин, связанных с проектированием и расчетом машин, механизмов, их деталей и узлов. В соответствии с типовой программой, в результате изучения дисциплины студент должен иметь навыки составления расчетных схем машин и механизмов для решения различных технических задач, владеть методиками выполнения кинематических и динамических расчетов, в том числе с применением ЭВМ, уметь применить их результаты для получения оптимальных характеристик механизмов и машин. Итогом изучения дисциплины ТММ является курсовое проектирование, в процессе которого полученные знания и навыки должны быть закреплены. При изучении курса в целом и выполнении курсового проекта в частности у студентов должно сформироваться понимание, что проводимые для машинного агрегата расчеты на уровне схемы в дальнейшем ложатся в основу прочностных расчетов элементов конструкций и разработки конструкторской документации при разработке новой или усовершенствовании существующей машины.

При выборе тем и содержания курсового проектирования для каждой специальности на кафедре «Теория механизмов и машин» БНТУ традиционно отдается предпочтение рассмотрению таких машин и механизмов, с которыми будущий специалист будет преимущественно сталкиваться в своей профессиональной деятельности. Специфика специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис», которую необходимо учесть при организации обучения ТММ, заключается в освоении студентами принципов функционирования, рациональной эксплуатации и ремонта автомобиля – сложного машинного агрегата с широким диапазоном режимов работы, включающего в себя согласованно работающие отдельные механизмы различной структуры. Это предполагает необходимость освоения синтеза и анализа различных механизмов, осознание взаимосвязи производимых расчетов с последующими этапами проектирования.

Разрабатывая задания на курсовой проект или работу, следует стремиться к сохранению комплексного подхода к проектированию и исследованию машинного агрегата как системы механизмов. Соблюдение данного требования затрудняется в условиях сокращения объемов курсового проектирования, происходящего в процессе оптимизации учебной нагрузки. Ранее студенты всех механических специальностей выполняли курсовой проект, состоящий из четырех разделов: динамики машинного агрегата, динамического анализа рычажного механизма, синтеза кулачкового механизма и синтеза системы управления. С переходом на рассматриваемых специальностях от проекта к курсовой работе встала задача сохранения комплексного подхода к проектированию при снижении объема работы.

Важную роль в приводах автомобильной техники играют рычажный кривошипно-ползунный механизм и кулачковый механизм газораспределения, передаточные зубчатые механизмы. Вопросам динамики машинного агрегата в целом уделяется первостепенное значение на лекционных и практических занятиях в первом семестре изучения теории механизмов и машин. Изучение данного раздела формирует у студентов понимание принципов передачи энергии в машинном агрегате между входным и выходным звеньями. Синтезу зубчатых зацеплений и кинематике зубчатых механизмов помимо значительного объема лекционных и практических занятий, посвящены лабораторные работы, выполняемые на макетах и установках, достаточно полно имитирующих реальные процессы. Это способствует качественному усвоению изучаемого материала. Учитывая все вышесказанное, в тематике курсового проектирования специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис» в условиях сокращения учебной нагрузки были сохранены вопросы кинематического и силового анализа рычажных механизмов, а также синтеза кулачковых механизмов.

Для исследования в курсовом проектировании подобраны различные по компоновке схемы механизмов, используемые в автомобильной технике – от малолитражных до большегрузных машин. Это кривошипно-ползунные механизмы, соответствующие функционирующим

в двигателях внутреннего сгорания с двумя шатунно-поршневыми группами, а также кулачковые механизмы.

Курсовая работа состоит из разделов: «Динамический анализ рычажного механизма ДВС» и «Синтез кулачкового механизма газораспределения», каждому из которых соответствует графическая часть формата A1. Пояснительная записка оформляется согласно стандарту на листах формата A4 в объеме 20 – 25 страниц. При рассмотрении рычажного механизма последовательно производятся структурный и кинематический анализ, силовой расчет. Расчеты производятся для одного положения механизма, определяемого заданным значением обобщенной координаты. Однако при постановке задачи преподавателем делается акцент на том, что применяемая методика является универсальной и для реальных циклически работающих механизмов необходимо определять аналогичные параметры для нескольких положений с заданным шагом по обобщенной координате. В процессе расчетов студент уясняет взаимосвязь разделов курса теории механизмов и машин, приобретает навыки решения комплексной инженерной задачи, которая по своему содержанию соответствует разработке технического задания на проектирование в условиях подготовки производства реальных машин. Обращается внимание на то, что результаты силового расчета используются для прочностного расчета коренных и шатунных шеек коленчатого вала, шатунов, поршневых пальцев, гильзы цилиндров, поршня и поршневых колец, являются основой для разработки сборочного чертежа изделия и рабочих чертежей основных деталей.

Синтез кулачкового механизма включает в себя определение кинематических характеристик движения выходного звена, расчет основных размеров и построения профиля кулачка для механизма с поступательно движущимся роликовым или плоским толкателем.

Рекомендуется применять графические методы расчетов, отличающиеся наглядностью и позволяющие студентам глубже усвоить теоретические основы проектирования. Лист, посвященный анализу рычажного механизма, содержит план скоростей, ускорений и планы сил групп Ассура и начального звена механизма. Второй лист включает построение графиков кинематических характеристик толкателя, совмещенную диаграмму перемещения и аналога скорости для графического определения основных размеров и построение центрального и действительного профилей кулачка методом обращенного движения. Для механизмов с роликовым толкателем выполняется анализ изменения угла давления за цикл работы.

В основу выполнения курсовой работы положено учебно-методическое пособие, включающее в себя задания на курсовую работу и методические указания по ее выполнению. Отдельные главы пособия построены в виде примера выполнения разделов работы. Они начинаются с постановки задачи, описания последовательности и методик проектирования, что позволяет четко определить место всех расчетов в общей схеме исследования.

Для успевающих студентов предусмотрено по их желанию выполнение расчетов аналитическими методами. При этом проводится сопоставление результатов расчетов графическим и аналитическим методом. Для проектирования кулачкового механизма студенты могут использовать разработанный на кафедре программно-методический комплекс "Синтез кулачковых механизмов", включающий в себя компьютерную программу и методические указания по курсовому проектированию.

Таким образом, объем курсовой работы по сравнению с выполнявшимся ранее курсовым проектом по теории механизмов и машин уменьшен примерно наполовину, исключен большой объем вычислительных расчетов, в результате чего значительно сокращены временные затраты студента на ее выполнение. Все это позволяет обратить большее внимание на качество выполнения и анализ результатов расчетов. По ходу выполнения работы студент сталкивается с вопросами и закрепляет материал из смежных разделов курса, не входящих непосредственно в тему курсовой работы. В этом случае студенту предлагается написание реферата, где он более глубоко анализирует некоторые из вопросов параллельных разделов курса теории механизмов и машин. При этом поощряется самостоятельное составление алгоритмов и разработка соответствующих программных продуктов для расчета тех или иных кинематических и динамических характеристик механизмов. Программы могут реализовываться как с использованием таблиц Excel, так и различных языков программирования

Дополнительные виды работ в рамках курсовой работы по ТММ развивают стремление студента к комплексному исследованию технического объекта в рамках учебного процесса, стимулируют повышение качества и уровня работы путем введения в чисто учебное задание элементов исследовательского проекта. В конце семестра каждый студент имеет возможность на итоговом занятии сделать доклад в студенческой группе по результатам дополнительных исследований. Прослушав доклады друг друга, студенты обогащаются большим объемом информации по разным аспектам проектирования в курсе теории механизмов и машин. Лучшие работы рекомендуются на студенческую конференцию вуза.

К защите курсовой работы студенты готовят доклад, по качеству которого можно оценить глубину понимания выполненной работы, в частности места и роли проведенных расчетов в решении реальных производственных задач.

Трехлетний опыт организации курсового проектирования для специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис» показывает, что описанные принципы выполнения курсовой работы обеспечили успешное освоение методик расчетов при значительном сокращении учебной нагрузки. Сохраняется глубокое понимание студентами основных положений раздела «Динамический анализ» курса теории механизмов и машин и принципов синтеза механизмов.

УДК 620.1

Якубовский А. Ч., Якубовский Ч. А.

ГРАФИЧЕСКОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ЗАДАЧ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММЫ КОМПАС–3D

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Решение практических задач многих общетехнических дисциплин, в том числе курса «Соппротивление материалов», обязательно сопровождается графическими построениями. В частности, при исследовании нагруженных элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость одним из важнейших этапов, непосредственно влияющих на правильность и точность расчетов, является составление расчетной схемы элемента конструкции и построение эпюр внутренних силовых факторов. Для этих целей при оформлении наглядного материала в учебном процессе целесообразно использовать компьютерные графические программы, например: КОМПАС-3D, AutoCAD, Corel Draw, графический редактор MS Word «Рисование» и пр.

Эффективной является программа КОМПАС-3D — система трехмерного твердотельного моделирования [1, 2]. Это мощная, постоянно совершенствующаяся, максимально адаптированная к действующим в настоящее время российским и белорусским стандартам система автоматизированного проектирования, в которой заложены основные принципы создания трехмерных моделей и чертежей с удобными для пользования и доступными для понимания приемами работы. Она включает справочники и библиотеки деталей и стандартных изделий, а также обладает мощным функционалом для работы над машиностроительными и строительными проектами, что позволяет реализовать классический процесс трехмерного параметрического проектирования — от идеи к ассоциативной объемной модели, от модели к конструкторской документации.

Основной задачей, решаемой системой, является существенное сокращение периода проектирования изделий и скорейший запуск их в производство. Это достигается благодаря тому, что КОМПАС-3D обладает большими возможностями трехмерного твердотельного моделирования, а именно:

- ассоциативное задание параметров формообразующих элементов и булевы операции над типовыми элементами — построение основных и вспомогательных прямых, плоскостей, пространственных кривых, создание поверхностей;
- моделирование деталей различной сложности, в том числе, из листового материала

(создание сгибов, отверстий, буртиков, замыкания углов, а также выполнение развертки полученного листового тела);

- специальные возможности, облегчающие создание конструктивных элементов (фасок, скруглений, канавок, ребер жесткости), построение полых деталей, тонкостенных оболочек;

- создание любых массивов формообразующих элементов и компонентов сборок (деталей в составе сборки) — моделирование деталей, наложение сопряжений на них, обнаружение их взаимопроникновения;

- вставка в модель стандартных изделий из библиотеки, а также формирование пользовательских библиотек моделей;

- возможность гибкого редактирования деталей и сборок — переопределение параметров любого элемента на любом этапе проектирования, вызывающее перестроение всей модели.

Конечно, все описанные возможности программы КОМПАС-3D могут быть не востребованы при отображении графической части инженерных задач курса «Сопротивление материалов» [3, 4]. Но очевидно, что многие ее функции способны значительно упростить и ускорить оформление задач различных разделов курса, особенно при необходимости трехмерного (пространственного) изображения (рис. 1).

Так, например, в случае простых видов сопротивления имеет место линейная или плоская деформация элементов конструкций, которая (как и само нагруженное тело) может быть отображена на расчетных схемах в двухмерном исполнении, т.е. в плоскости листа:

- осевое растяжение или сжатие, когда внешняя нагрузка действует вдоль продольной оси стержня, вызывая его линейную деформацию, сопровождающуюся удалением соседних сечений друг относительно друга или их сближением в направлении действия нагрузки;

- кручение (или общий случай — сдвиг), когда внешняя нагрузка действует в плоскости, перпендикулярной продольной оси стержня, вызывая его плоскую деформацию, сопровождающуюся поворотом (смещением) соседних сечений друг относительно друга в направлении действия нагрузки;

- плоский поперечный изгиб, когда внешняя нагрузка действует перпендикулярно продольной оси стержня, вызывая его плоскую деформацию, сопровождающуюся смещением соседних сечений друг относительно друга в направлении действия нагрузки и их взаимным поворотом в той же плоскости.

При этом может возникнуть необходимость в изображении дополнительных видов, разрезов или сечений.

В случае сложных видов сопротивления — различных комбинаций простых видов — происходит объемная деформация нагруженных тел:

- изгиб в двух плоскостях (или частный случай — косой изгиб), когда линия действия результирующей F внешней поперечной нагрузки не совпадает ни с одной из главных центральных осей инерции сечения стержня (рис. 2), вызывая его плоскую деформацию в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

- внецентренное растяжение или сжатие, когда внешняя растягивающая или сжимающая нагрузка F действует параллельно продольной оси стержня и приложена в точке, не совпадающей с центром тяжести его сечения (рис. 3), вызывая помимо линейной деформации растяжения–сжатия плоскую деформацию изгиба в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

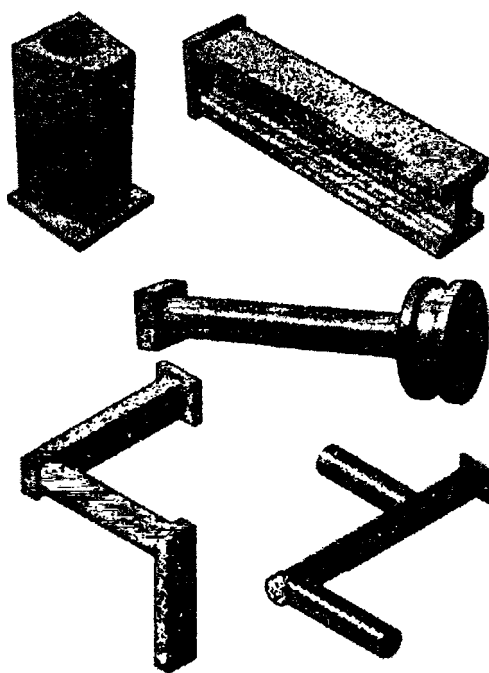


Рис. 1

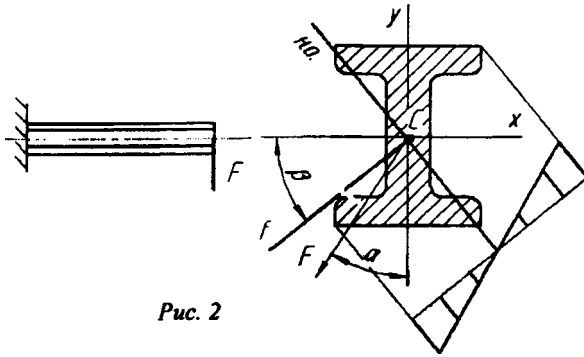


Рис. 2

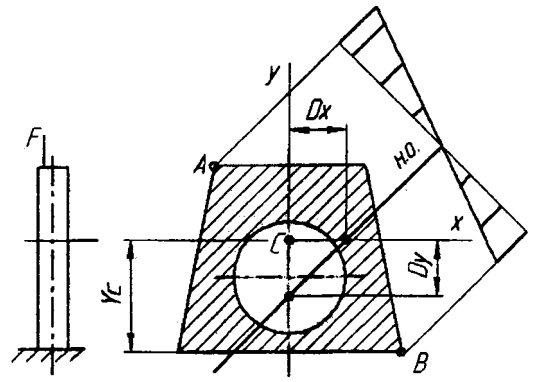


Рис. 3

Решение этих задач обязательно должно сопровождаться расчетной схемой сечения стержня и требует: указания положения нейтральной оси сечения стержня, построения эпюры распределения напряжений по сечению, указания направления прогиба стержня, построения ядра сечения, построения эпюр распределения внутренних силовых факторов по длине стержня. То есть в двухмерном исполнении графическая часть должна иметь дополнительные виды, сечения. Поэтому для наглядности весь этот объем графических построений было бы рационально представить в трехмерном исполнении.

Кроме того, при некоторых видах сложного сопротивления трехмерное исполнение часто является единственным способом оформления задачи. В частности:

- совместное действие изгиба и кручения — деформация, которую испытывают валы приводов, оси рычагов и блоков, а также конструкции плоских жестких стержней с «ломаными» или разветвленными осями, находящиеся под действием внешней поперечной нагрузки;
- совместное действие изгиба, кручения и растяжения–сжатия — деформация, которую испытывают пространственные стержни.

Если расчетные схемы валов и осей и эпюры их внутренних силовых факторов можно представить в двухмерном исполнении (рис. 4), то схемы стержней с «ломанными» или разветвленными осями и эпюры их внутренних силовых факторов необходимо изображать в трехмерном исполнении (рис. 5), так же, как и геометрию пространственного стержня (рис. 6).

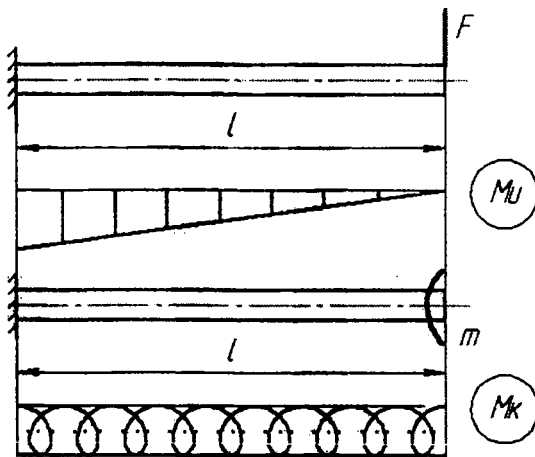


Рис. 4

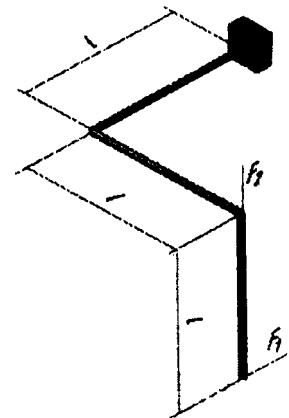


Рис. 6

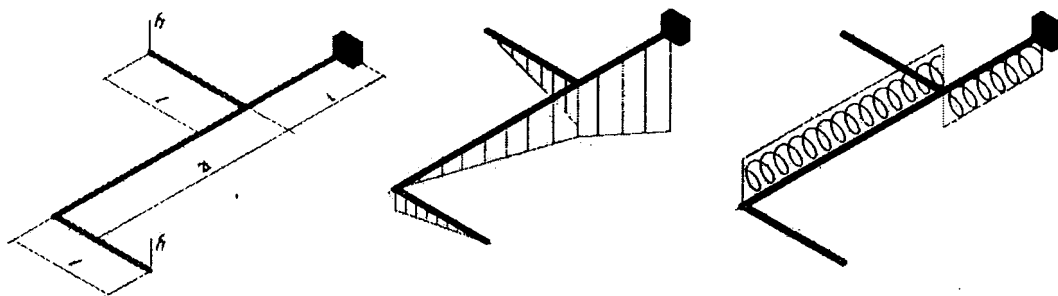


Рис. 5

Таким образом, независимо от того, какой вид сопротивления деформированию испытывает конструкция, оформление ее расчета удобно производить при помощи программы КОМПАС-3D. Эта программа позволяет в требуемых для изложения материала пределах вычерчивать в плоскости и в объеме расчетные схемы элементов конструкций, строить двух- и трехмерные эпюры внутренних силовых факторов, создавать пространственные модели нагруженных тел. Следует также отметить, что вне зависимости от их геометрии пространственная графика рациональнее по исполнению с точки зрения занимаемого места и более наглядна с точки зрения удобства восприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочков, А.Л. Трехмерное моделирование в системе Компас-3D (практическое руководство). — СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. — 84 с.
2. Сторчак, Н.А., Гегучадзе В.И., Синьков А.В. Моделирование трехмерных объектов в среде Компас-3D: Учебное пособие. — ВолгГТУ.: Волгоград, 2006. — 216 с.
3. Феодосьев, В.И. Сопротивление материалов. — М.: Наука, 1968. — 452 с.
4. Примеры решения задач сопротивления материалов / Под ред. В.К. Качурина. — М.: Высшая школа, 1972. — 542 с.

УДК 621.01:531.8:681.3+004.92

Булова П.В., Астахов Э.И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ «AUTOCAD» ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ФУНКЦИЙ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

AutoCAD – программа, предназначенная для графического решения современных технических задач в электронном виде. Ее используют в различных областях инженерной деятельности, таких как: архитектура, проектирование машин, дизайн и др. Благодаря программе AutoCAD больше нет необходимости делать копии конструкторских чертежей, т.к. вся информация сохраняется в электронном виде [1]. Так же, при условии точного соблюдения масштаба, AutoCAD позволяет с высокой точностью задать все необходимые размеры на чертеже. Благодаря этому уменьшается погрешность измерений по сравнению с методом использования чертежных измерительных приборов.

AutoCAD позволяет создавать и работать как с двухмерными моделями (2D – чертеж на плоскости, обычно выполнен в проекциях), так и с трехмерными моделями (3D – чертеж в пространстве, в форме, в которой наблюдаем все объекты в жизни). Благодаря таким функциям конструктору проще прочитать чертеж и разобраться в основных узлах и работе рассматриваемого

мой детали. Максимальная точность измерения в программе достигает восьми знаков после запятой. При использовании такой точности в ходе измерений на компьютере погрешность будет в тысячи раз меньше погрешности подручных приборов, таких как измерительная линейка, транспортир и т.д., при измерениях, проводимых вручную.

Покажем использование AutoCAD для определения передаточных функций (аналогов скоростей) рычажного (кривошипно-ползунного) механизма графоаналитическим методом планов. Как известно из теории механизмов и машин [2], метод планов заключается в последовательном построении планов положений механизма и планов аналогов скоростей. По заданным размерам l_1 и обобщенной координате (углу φ_1) сначала строится план положений (рис. 1)

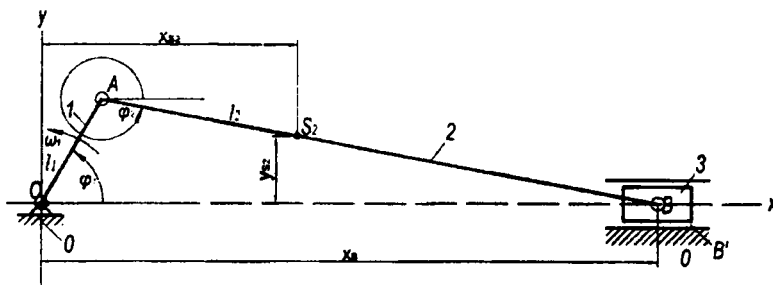


Рис. 1. План положений механизма

в выбранном масштабе $\mu_l = 0,001$ м/мм по чертежным отрезкам:

$$OA = \frac{l_{OA}}{\mu_l} = \frac{0,07}{0,001} = 70 \text{ мм}; AB = \frac{l_{AB}}{\mu_l} = \frac{0,331}{0,001} = 331 \text{ мм}; AS_2 = \frac{l_{AS_2}}{\mu_l} = \frac{0,116}{0,001} = 116 \text{ мм};$$

Сначала строится отрезок OA под заданным углом φ_1 (рис. 1), а затем радиусом AB из точки A на оси x строится точка B. На AB откладывается $AS_2 = 116$ мм и получается точка S_2 . Все операции по построению плана положений и плана аналогов скоростей механизма выполняются с помощью стандартных команд в программе AutoCAD, а именно: отрезок, точка, круг, дуга, прямоугольник, линейный и параллельный размеры и др.

Замеряются отрезки x_B, y_B и рассчитываются координаты точек:

- координаты поршня:

$$x_B = x_B \mu_l = 360,40129072 \cdot 0,001 = 0,360400129 \text{ м};$$

- координаты точки S_2 шатуна:

$$x_{S_2} = x_{S_2} \mu_l = 149,03791457 \cdot 0,001 = 0,149037914 \text{ м};$$

$$y_{S_2} = y_{S_2} \mu_l = 39,37668377 \cdot 0,001 = 0,039376683 \text{ м}.$$

- угловая координата φ_2 шатуна замеряется из плана положений, $\varphi_2 = 349,4468611^\circ$

План аналогов скоростей – векторный многоугольник, отрезки которого изображают в масштабе линейные аналоги скоростей точек, т.е. производная по обобщенной координате φ_1 механизма:

$$u = \frac{dS}{d\varphi_1} = \frac{dx}{d\varphi_1} = \frac{dy}{d\varphi_1}.$$

Начинаем от входного кривошипа 1 и определяем аналог скорости вращающейся точки A:

$$\begin{aligned}
x_A &= l_1 \cos \varphi_1 = 0,07 \cdot \cos 60^\circ = 0,035 \text{ м}; \\
y_A &= l_1 \sin \varphi_1 = 0,07 \cdot \sin 60^\circ = 0,06062178 \text{ м}; \\
x_B &= x_A + a\sqrt{l_2^2 - (y_B - y_A)^2} = 0,035 + \sqrt{0,331^2 - 0,06062178^2} = 0,36040129 \text{ м}; \\
y_B &= 0; \\
\sin \varphi_2 &= \frac{y_B - y_A}{l_2} = \frac{0 - 0,06062178}{0,331} = -0,18314737; \\
\cos \varphi_2 &= \frac{x_B - x_A}{l_2} = \frac{0,36040129 - 0,035}{0,331} = 0,98308547; \\
\varphi_2 &= \arccos\left(\frac{x_B - x_A}{l_2}\right) = \arccos(0,98308547) = 349,4468609^\circ; \\
x_{s_2} &= x_A + l_3 \cos \varphi_2 = 0,035 + 0,116 \cdot 0,98308547 = 0,149037914 \text{ м}; \\
y_{s_2} &= y_A + l_3 \sin \varphi_2 = 0,06062178 + 0,116 \cdot (-0,18314737) = 0,039376685 \text{ м}; \\
\text{где } l_3 &= l_{As_2};
\end{aligned}$$

- аналоги скоростей:

$$\begin{aligned}
u_{2,1} = \dot{\varphi}_2 &= \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = -\frac{l_1 \cos \varphi_1}{l_2 \cos \varphi_2} = -\frac{0,07 \cdot \cos 60^\circ}{0,331 \cdot 0,98308547} = -0,1075595; \\
u_{3,1} = \dot{i}_{3,1} &= \frac{dy_B}{d\varphi_1} = -l_1 \sin \varphi_1 - l_2 u_{2,1} \sin \varphi_2 = -0,07 \cdot \sin 60^\circ - 0,331 \cdot (-0,1075595) \cdot (-0,18314737) = -0,067142226 \text{ м}; \\
u_{s(x)} = \dot{x}_s &= \frac{dx_s}{d\varphi_1} = -l_1 \sin \varphi_1 - u_{2,1} l_3 \sin \varphi_2 = -0,07 \cdot \sin 60^\circ - (-0,1075595) \cdot (-0,18314737) \cdot 0,116 = -0,06290689 \text{ м}; \\
u_{s(y)} = \dot{y}_s &= \frac{dy_s}{d\varphi_1} = l_1 \cos \varphi_1 + u_{2,1} l_3 \cos \varphi_2 = 0,07 \cdot \cos 60^\circ + (-0,1075595) \cdot 0,116 \cdot 0,98308547 = 0,022734138 \text{ м}; \\
u_{s_2} &= \sqrt{u_{s(x)}^2 + u_{s(y)}^2} = \sqrt{(-0,06290689)^2 + 0,022734138^2} = 0,066888846 \text{ м}.
\end{aligned}$$

Результаты аналитического расчета и метода планов сводим в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты расчетов аналогов скоростей

Сравниваемые параметры	$u_{2,1}$	$u_{3,1}$	$u_{s(x)}$	$u_{s(y)}$	u_{s_2}
Графический результат	0,1075589	0,067142232	0,06290678	0,022734228	0,066888833
Аналитический результат	-0,1075595	-0,067142226	-0,06290689	0,022734138	0,066888846
Процент расхождения	0,0006	0,000009	0,0002	0,0004	0,00002

Как видно из таблицы, результаты расчета при использовании аналитического и графического метода (в AutoCAD) дают очень малый процент расхождения.

Таким образом, благодаря высокой точности (до восьмого знака после запятой) в программе AutoCAD мы можем получить результаты аналогов скоростей с минимальной погрешностью. Следовательно, графический метод планов при выполнении на электронном экране позволяет получить такой же результат, как и в аналитическом расчете. Расхождение сравниваемых величин в этом случае составит менее 0,001%.

ЛИТЕРАТУРА

1. AutoCAD 2006: подробное иллюстрированное руководство / Под. Ред. Жадаева А.Г. – М.: 2006. – 237 с.
2. Курсовое проектирование по теории механизмов и машин / Под общ. Ред. Г.Н. Девойно. – Мн.: Выш. Школа, 1986. – 285 с.
3. Теория механизмов и машин: Учебник для вузов / К.В. Фролов, А.К. Мусатов и др.: Под ред. К.В. Фролова. – М.: Высшая школа, 1987. – 496 с.

КИНЕМАТИКА РЫЧАЖНЫХ МЕХАНИЗМОВ С ВХОДНЫМ ПОРШНЕМ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

В механизмах гидронасосов ротационного типа с вращающимися лопастями, а также в различных гидро- и пневмоприводах используются механизмы с входным поршнем на шатуне, скользящим в качающемся или вращающемся цилиндре. Рассмотрим задачу определения кинематических характеристик такого механизма (рис. 1).

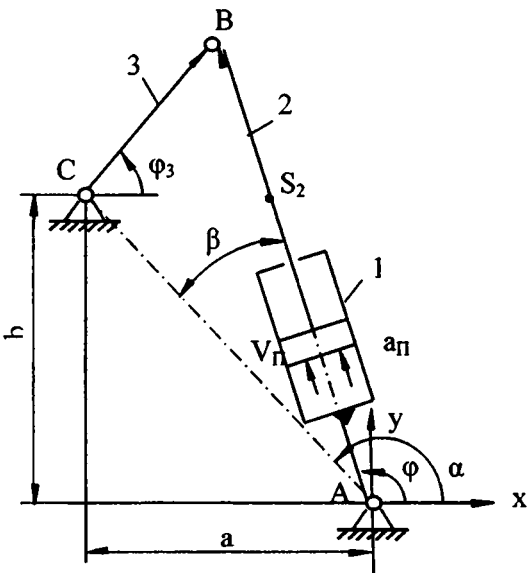


Рис. 1. Кинематические характеристики

В этом механизме заданным является относительное движение поршня 2 по отношению к цилиндру 1 (скорость v_n и ускорение a_n), а в качестве обобщенной координаты можно принять переменное расстояние $l_{AB} = S$.

Векторное уравнение замкнутости контура ACBA имеет вид

$$\vec{l}_{AC} + \vec{l}_{CB} - \vec{l}_{AB} = 0$$

Проецируем это уравнение на оси координат:

$$x_C + l_3 \cos \varphi_3 - S \cos \varphi_1 = 0, \tag{1}$$

$$y_C + l_3 \sin \varphi_3 - S \sin \varphi_1 = 0, \tag{2}$$

где $x_C = -a$, $y_C = b$. Угол φ_1 находим следующим образом:

$$\varphi_1 = \alpha \pm \beta,$$

где знак «плюс» следует брать, если обход контура ACBA происходит против часовой стрелки, а знак «минус», если обход этого контура происходит по часовой стрелке. Тем самым учитываем два возможных варианта сборки механизма.

Угол α наклона вектора \bar{l}_{AC} находится из соотношений

$$\cos \alpha = \frac{x_C}{l_{AC}}, \quad \sin \alpha = \frac{y_C}{l_{AC}}, \quad l_{AC} = \sqrt{x_C^2 + y_C^2}.$$

Угол β в треугольнике ACB по теореме косинусов равен:

$$\beta = \arccos \frac{l_{AC}^2 + S^2 - l_3^2}{2 l_{AC} S}.$$

После подстановки углов α, β, φ_1 в уравнения (1) и (2), последние решаются относительно $\cos \varphi_3$ и $\sin \varphi_3$, по которым получают угол φ_3 .

Для определения аналогов скоростей $\varphi_1' = \frac{d\varphi_1}{dS}$ и $\varphi_3' = \frac{d\varphi_3}{dS}$ дифференцируем выражение (1) по обобщенной координате S:

$$-l_3 \varphi_3' \sin \varphi_3 - \cos \varphi_1 + S \varphi_1' \sin \varphi_1 = 0. \quad (3)$$

Из всех углов в выражении (3) вычитаем угол φ_3 , что равносильно повороту осей координат на этот угол. В результате получим аналог угловой скорости звена 1

$$\varphi_1' = \frac{1}{S \operatorname{tg}(\varphi_1 - \varphi_3)}.$$

Аналогично, вычитая угол φ_1 , получим аналог угловой скорости звена 3

$$\varphi_3' = \frac{1}{l_3 \sin(\varphi_1 - \varphi_3)}.$$

Для определения аналогов ускорений $\varphi_1'' = \frac{d^2 \varphi_1}{dS^2}$ и $\varphi_3'' = \frac{d^2 \varphi_3}{dS^2}$ дифференцируем выражение (3) по S:

$$-l_3 \varphi_3'' \sin \varphi_3 - l_3 (\varphi_3')^2 \cos \varphi_3 + \varphi_1' \sin \varphi_1 + \varphi_1' \sin \varphi_1 + S \varphi_1'' \sin \varphi_1 + S (\varphi_1')^2 \cos \varphi_1 = 0. \quad (4)$$

Используя тот же прием вычитания углов φ_3 и φ_1 , из выражения (4) находим аналоги угловых ускорений звеньев 1 и 3:

$$\varphi_1'' = \frac{l_3 (\varphi_3')^2 - 2 \varphi_1' \sin(\varphi_1 - \varphi_3) - S (\varphi_1')^2 \cos(\varphi_1 - \varphi_3)}{S \sin(\varphi_1 - \varphi_3)},$$

$$\varphi_3'' = \frac{S (\varphi_1')^2 - l_3 (\varphi_3')^2 \cos(\varphi_3 - \varphi_1)}{l_3 \sin(\varphi_3 - \varphi_1)}.$$

Для точки S_2 (центра масс звена 2) $\bar{l}_{AS_2} = \bar{l}_{AB} - \bar{l}_{S_2B}$.

Тогда

$$x_{S_2} = (S - l_{BS_2}) \cos \varphi_1,$$

$$\begin{aligned}
y_{S_2} &= (S - l_{BS_2}) \sin \varphi_1, \\
x'_{S_2} &= \cos \varphi_1 - (S - l_{BS_2}) \varphi'_1 \sin \varphi_1, \\
y'_{S_2} &= \sin \varphi_1 + (S - l_{BS_2}) \varphi'_1 \cos \varphi_1, \\
x''_{S_2} &= -2\varphi'_1 \sin \varphi_1 - (S - l_{BS_2}) \left[\varphi''_1 \sin \varphi_1 + (\varphi'_1)^2 \cos \varphi_1 \right], \\
y''_{S_2} &= 2\varphi'_1 \cos \varphi_1 + (S - l_{BS_2}) \left[\varphi''_1 \cos \varphi_1 - (\varphi'_1)^2 \sin \varphi_1 \right].
\end{aligned}$$

По известным V_n и a_n можно найти все остальные скорости и ускорения:

$$\begin{aligned}
\omega_1 &= \varphi'_1 V_n, & \omega_3 &= \varphi'_3 V_n, \\
V_{S_2}^x &= x'_{S_2} V_n, & V_{S_2}^y &= y'_{S_2} V_n, \\
\varepsilon_1 &= \varphi''_1 V_n^2 + \varphi'_1 a_n, & \varepsilon_3 &= \varphi''_3 V_n^2 + \varphi'_3 a_n, \\
a_{S_2}^x &= x''_{S_2} V_n^2 + x'_{S_2} a_n, & a_{S_2}^y &= y''_{S_2} V_n^2 + y'_{S_2} a_n.
\end{aligned}$$

Чтобы решить рассмотренную задачу графоаналитическим методом планов скоростей и ускорений, следует воспользоваться кинематически эквивалентной схемой механизма (рис. 2 а). Движение звена 2 является сложным, которое складывается из переносного (вращательного) движения вместе со звеном 1 и относительного (поступательного) движения по отношению к этому звену. На основании этого

$$\bar{V}_{A_2} = \bar{V}_A + \bar{V}_{A_2A}, \quad (5)$$

где \bar{V}_{A_2} - скорость точки A_2 , принадлежащей звену 2 и в данный момент совпадающей с точкой А. В выражении (5) $\bar{V}_A = 0$, $\bar{V}_{A_2A} = \bar{V}_n$ - заданная относительная скорость.

Для точки В

$$\bar{V}_B = \bar{V}_{A_2} + \bar{V}_{BA_2}, \quad (6)$$

$$\bar{V}_B = \bar{V}_C + \bar{V}_{BC}, \quad (7)$$

где $\bar{V}_C = 0$.

На основании уравнений (5) – (7) строится план скоростей (рис. 2 б).

Ускорение точки A_2 находим согласно теореме Кориолиса:

$$\bar{a}_{A_2} = \bar{a}_A + \bar{a}_{A_2A}^r + \bar{a}_{A_2A}^k, \quad (8)$$

где $\bar{a}_A = 0$, $\bar{a}_{A_2A}^r = \bar{a}_n$ - заданное относительное ускорение, $\bar{a}_{A_2A}^k$ - кориолисово ускорение, причем

$$a_{A_2A}^k = 2\omega_2 V_{A_2A}.$$

Для точки В

$$\bar{a}_B = \bar{a}_{A_2} + \bar{a}_{BA_2}^n + \bar{a}_{BA_2}^t, \quad (9)$$

$$\bar{a}_B = \bar{a}_C + \bar{a}_{BC}^n + \bar{a}_{BC}^t, \quad (10)$$

где $\bar{a}_C = 0$, $a_{BA_2}^n = \omega_2^2 l_{AB}$, $a_{BC}^n = \omega_3^2 l_{BC}$.

Уравнения (8) – (10) решаются графически путем построения плана ускорений (рис. 2, в).

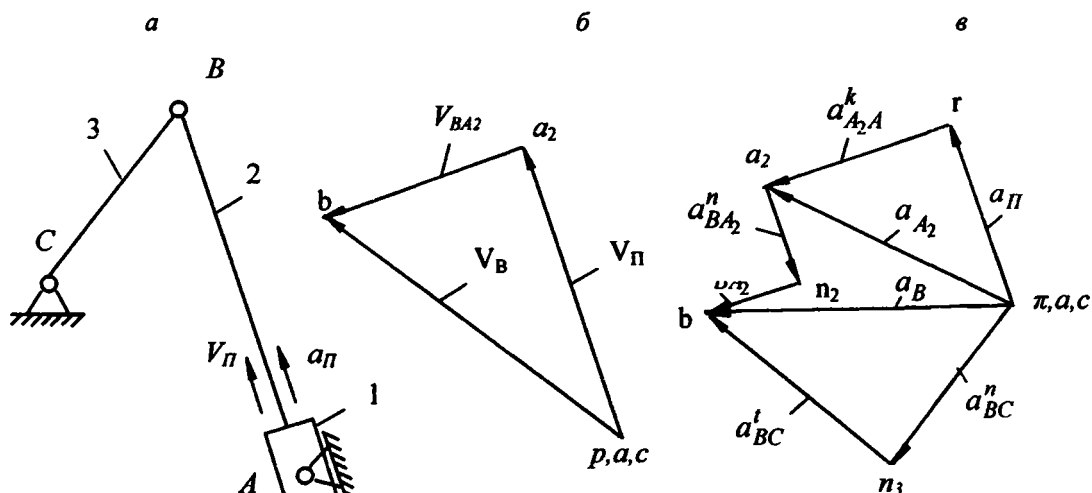


Рис. 2

ЛИТЕРАТУРА

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Наука, 1988. – 640 с.

УДК 621.01:531.3:681.3+621.876

Гарах В.А., Астахов Э.И.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕАКЦИЙ И АНАЛИЗ НАГРУЖЕННОСТИ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА НОЖНИЧНОГО ПОДЪЕМНИКА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Схема шарнирно-рычажного механизма ножничного подъемника для подъема и опускания крупногабаритных грузов показана на рис. 1 в работе [1] данного сборника. В связи с отсутствием в существующей технической литературе методик расчета шарнирно-рычажных механизмов привода ножничных подъемников в работах [2] и [3] авторами разработана методика динамического анализа движения грузовой площадки на подъеме.

В работе [1] показаны особенности структуры и кинематики такого шарнирно-рычажного механизма ножничного подъемника. Задачей данной работы является разработка методики динамического силового расчета этого механизма и анализ нагруженности его звеньев и шарниров на стадии разгона при подъеме.

Схема внешних сил рассматриваемого механизма показана на рис. 1.

Основными внешними статическими нагрузками являются сила полезного сопротивления Q поднимаемого груза и силы веса G_i , приложенные в центрах масс S_i рычагов, массой m_i : $G_i = m_i \cdot g$, где $g = 9,81 \text{ м/с}^2$. В точке B_1 , движущейся поступательно, приложена движущая уравновешивающая сила F_d .

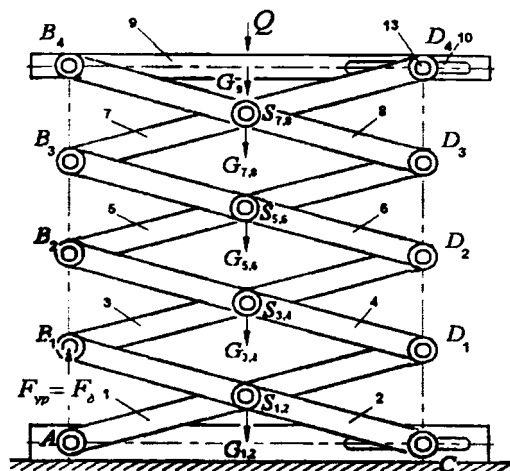


Рис. 1. Схема внешних сил механизма ножничного подъемника

Динамический силовой расчет при разгоне на подъеме сведен по классической теории механизмов и машин к кинетостатическому, приложив к i -ым звеньям проекции векторов $\overline{F_{ui}}$ сил инерции в центрах масс S_i и моменты сил инерции $\overline{M_{ui}} = (1, 2, 3, \dots, 10)$:

$$F_{ui}^x = -m_i \cdot a_{Si}^x, \quad F_{ui}^y = -m_i \cdot a_{Si}^y, \quad M_{ui} = -J_{Si} \cdot \varepsilon_i,$$

где a_{Si}^x, a_{Si}^y (определены в работе [1]) - проекции линейных ускорений центров S_i ;

J_{Si} - осевые моменты инерции звеньев относительно центров масс S_i ;

ε_i (определены в работе [1]) - угловые ускорения i -ых звеньев.

Так как силовой расчет механизмов проводится по статически определимым цепям (по группам Ассура), начиная от последней, то выделим цепь звена 9 с шарниром B_8 и высшей парой D_7 (рис. 2) с внешними силами Q, G_9, F_{u9} . Реакции $R_{B8} = R_{9,8} = \overline{R_{9,8}^x} + \overline{R_{9,8}^y}$ и $R_{D7} = R_{9,7}^x$ определим из уравнений статического равновесия на оси X и Y :

$$\left. \begin{aligned} \sum X_9 &= 0 \Rightarrow R_{9,8}^x = 0, \\ \sum Y_9 &= 0 \\ \sum M_{B8}(F_{u9}) &= 0 \end{aligned} \right\} \Rightarrow R_{9,8}^y = 0,5 \cdot (Q + G_9 + F_{u9}); \quad R_{D7} = 0,5 \cdot (Q + G_9 + F_{u9}). \quad (1)$$

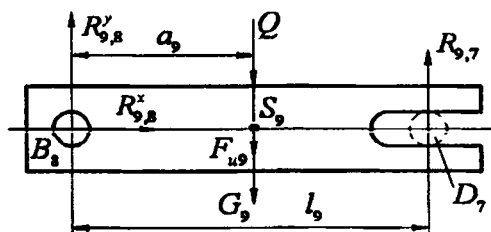


Рис. 2. Схема проекций сил и реакций звена 9 в начале подъема

Затем рассматриваем верхнюю структурную группу из звеньев (7, 8), которая является типовой, по аналогии с которой рассчитываются структурные группы (5, 6) и (4, 3). Обобщая

их, покажем структурную группу из звеньев (i, j) на рис. 3 с силами веса $G_{ij} = G_i + G_j = 2G_i$ в центрах масс S_{ij} ; известными реакциями $R_{i,l+1}$ и $R_{j,l+1}$ в верхних точках B_l и D_l ; силами инерции F_{uij} в S_{ij} ; противоположными моментами сил инерции M_{ui} и M_{uj} ; неизвестными реакциями R' и R'' в нижних точках B_{l-1} и D_{l-1} и внутренней реакцией $R_{i,j}$ во внутреннем шарнире S_{ij} . Из уравнений статического равновесия сил группы определяются проекции неизвестных реакций.

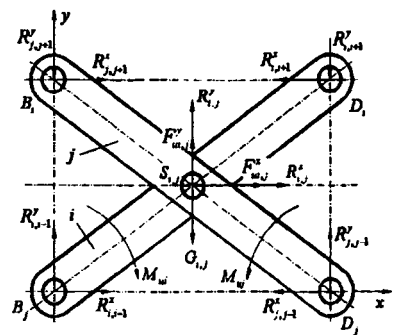


Рис. 3. Схема проекций и реакций типовой группы (i, j)

Уравнения статического равновесия типовой группы (i, j) :

$$\left. \begin{aligned} R_{i,l-1}^x + F_{uij}^x + R_{i,l+1}^x + R_{j,l-1}^x + R_{i,l+1}^x &= 0; & R_{i,l-1}^y + F_{uij}^y + R_{i,l+1}^y - G_{ij} + R_{j,l+1}^y + R_{i,l+1}^y &= 0; \\ R_{i,l-1}^x + F_{uij}^x + R_{i,l+1}^x + R_{i,l+1}^x &= 0; & R_{i,l-1}^y + F_{uij}^y - G_i + R_{i,l+1}^y + R_{i,l+1}^y &= 0; \\ R_{i,l-1}^x \cdot l_y + R_{i,l-1}^y \cdot l_x + M_{ui} - R_{i,l+1}^x \cdot l_y + R_{i,l+1}^y \cdot l_x &= 0; \\ R_{j,l-1}^x \cdot l_y + R_{j,l-1}^y \cdot l_x + M_{uj} - R_{j,l+1}^x \cdot l_y + R_{j,l+1}^y \cdot l_x &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Система шести уравнений с шестью неизвестными $R_{i,l-1}^x, R_{i,l-1}^y, R_{j,l-1}^x, R_{j,l-1}^y, F_{ui}^x, F_{ui}^y$ решается методом Гаусса, откуда определяются полные реакции:

$$R_{i,l-1} = \sqrt{(R_{i,l-1}^x)^2 + (R_{i,l-1}^y)^2}; \quad R_{j,l-1} = \sqrt{(R_{j,l-1}^x)^2 + (R_{j,l-1}^y)^2}; \quad R_{i,j} = \sqrt{(R_{i,j}^x)^2 + (R_{i,j}^y)^2}. \quad (3)$$

Такая процедура расчетов повторяется три раза по числу типовых групп (7 и 8), (6 и 5), (3 и 4). В конце рассчитывается нижняя группа звеньев 1, 2 (рис. 4),

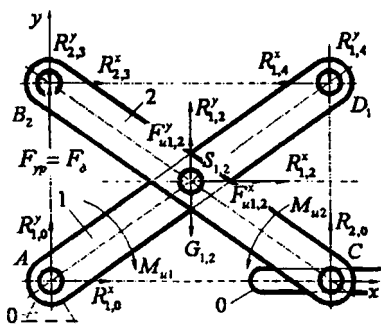


Рис. 4. Схема проекций сил и реакций

в которой в высшей паре C нормальная реакция $R_{2,0}$ известна направлением, а во враща-

тельной паре В со стороны поршня гидроцилиндра приложена уравновешивающая вертикальная сила F_{yp} .

Неизвестные $R_{1,0}^x, R_{1,0}^y, R_{2,0}, R_{1,2}^x, R_{1,2}^y, F_{\omega\omega}$, определяются из аналогичной (2) системы уравнений методом Гаусса.

На основании полученных выражений реакций составлена программа силового расчета и рассчитаны на компьютере реакции во всех шарнирах для предложенного варианта привода на рисунке 1. При заданной нагрузке поднимаемого груза $Q = 10000H$, массе площадки $m_p = 500\text{êã}$ и массах рычагов $m_1 = \dots = m_8 = 32\text{êã}$ при времени подъема $t_n = 30c$ и высоте подъема площадки $H = 5,6\text{ì}$ получены следующие величины реакций:

$$\begin{aligned} R_{9,8} &= 7464H, \quad R_{9,7} = 7605H, \\ R_{7,6} &= R_{8,7} = 261500H, \quad R_{5,8} = 261750H, \quad R_{6,3} = R_{4,5} = 544000H, \quad R_{6,5} = 805000H, \\ R_{4,3} &= 1345000H, \quad R_{4,2} = R_{3,1} = 801250H, \quad R_{1,2} = 804300H, \\ R_{2,0} &= 95366H, \quad R_{1,0} = 55300H, \quad F_y = F_d = 60464H. \end{aligned}$$

Величины сил инерции F_{ui} в данном варианте подъемника по сравнению с реакциями R_{ij} очень незначительны и ими можно пренебречь, т.е. динамический расчет сводится фактически к статическому.

Направления максимальных реакций близки к горизонтальным и превышают заданную нагрузку Q в 134,5 раза. Для уменьшения реакций заказчику предложено оптимизировать схему и точку приложения движущей силы F_d .

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов Э.И., Гарах В.А. Особенности структуры и кинематики шарнирно-рычажного механизма ножничного подъемника // В сб. «Машиностроение», вып. 25, Минск: БНТУ, 2009.
2. Астахов Э.И., Гарах В.А., Макаров А.Д. Динамический анализ движения поршня гидропривода ножничного подъемника // В сб. «Машиностроение», вып. 24, Минск: БНТУ, 2008, с. 34-37.
3. Астахов Э.И., Гарах В.А., Макаров А.Д. Моделирование динамики подъема площадки ножничного подъемника // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сб. научн.-метод. раб. Вып. 24. БНТУ– Минск: Технопринт, 2009, с.313-317.

УДК 621.01:531.3 + 621.876

Астахов Э.И., Гарах В.А.

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И КИНЕМАТИКИ РЫЧАЖНОГО МЕХАНИЗМА НОЖНИЧНОГО ПОДЪЕМНИКА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Для разработки конструкторской документации одного из вариантов ножничного подъемника необходимо сделать анализ структуры, кинематики и динамической нагруженности звеньев и шарниров антипараллелограммного рычажного механизма. Анализ публикаций по грузоподъемной технике показал, что в существующей литературе [1, 2, 3] отсутствует анализ и методика расчетов ножничных механизмов. Ранее в работах [4], [5] авторами была разработана методика динамического анализа движения при подъеме площадки под действием заданной движущей силы гидроцилиндра. Задачей данной работы является анализ структуры и кинематики шарнирно-рычажного механизма одного из вариантов ножничного подъемника для последующего анализа динамической нагруженности его звеньев и шарниров.

Кинематическая схема шарнирно-рычажного механизма исследуемого подъемника показана на рис. 1.

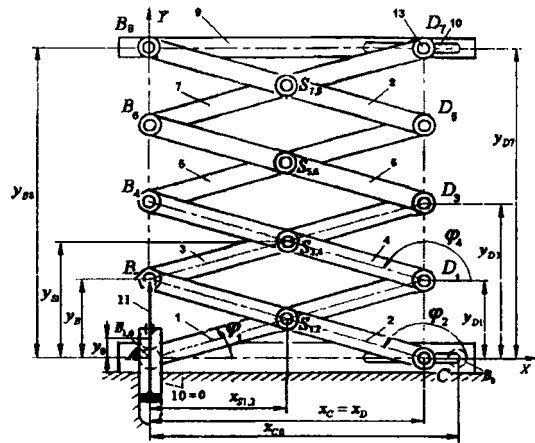


Рис. 1. Кинематическая схема рычажного механизма ножничного подъемника

Он состоит из четырех секций антипараллелограммов (ножниц) 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, 7 и 8, образующая статически определимые структурные группы (группы Ассура). Сверху к рычагам 7 и 8 шарнирно подсоединена поднимаемая площадка 9, а нижняя секция рычагов 1 и 2 соединена с неподвижной рамой (стойкой). Привод механизма осуществляется поршнем 11 неподвижного гидроцилиндра 10 в шарнире B_2 , шарнир А неподвижный и соединяет стойку О с рычагом 1. Левые концы рычагов 2 и 7 цилиндрическими штифтами 12 образуют высшие пары скольжения С и D_7 в прямолинейных направляющих 13. Рычаги 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, 7 и 8 шарнирно соединены в точках S_i центров масс.

Число подвижных звеньев механизма $n = 10$ (8 одинаковых рычагов $1 \div 8$, площадка 9, поршень со штоком 11). Кинематические пары механизма: вращательные одноподвижные А, $B_{2,3}$, B_4 , B_6 , B_8 , $S_{1,2}$, $S_{3,4}$, $S_{5,6}$, $S_{7,8}$, D_1 , D_3 , D_5 , $B_{10,2}$, поступательная одноподвижная $A_{10,11}$, высшие пары скольжения $B_{2,0}$, $D_{7,9}$, т.е. число низших одноподвижных пар $P_n = 14$, число высших пар двухподвижных пар $P_v = 2$. Для плоского механизма по формуле П.Л. Чебышева получим степень свободы $W = 3n - 2P_n - P_v = 3 \cdot 10 - 2 \cdot 14 - 2 = 0$. $W = 0$ показывает, что в механизме 1 избыточная связь – звено 11 с поступательной парой $A_{10,11}$.

Так как размеры механизма удовлетворяют условию $l_1 = l_2 = \dots = l_8 = l$ и $l_{AS_1} = l_{BS_2} = \dots = l_{BS_8} = 0.5l$, то точки В двигаются по вертикальной прямой, поэтому с точки зрения структуры геометрическая связь звеньев 10 и 11 не нужна и вместо нее можно ввести силовую связь (сила $F_{11} = F_d$ в точке B_2). Тогда $n = 9$, $P_n = 12$, $P_v = 2$ и $W = 3 \cdot 9 - 2 \cdot 12 - 2 = 1$, т.е. достаточно одной обобщенной независимой координаты $q = y_{B_2}$ точки B_2 для определения движения всех остальных звеньев механизма. Тогда цепь звеньев $1 \div 9$ разделяется на структурные нулевые цепи (группы Ассура): входная группа 2-го класса (1, 2) с высшей парой С и силовой связи F_d , три шарнирные группы 2-го класса 1-го вида (3 и 4), (5 и 6), (7 и 8), группа 9 – 2-го класса с высшей парой D_7 . Эти группы показаны в работе [6] данного сборника на рисунках 2, 3, 4. Весь механизм 2-го класса и его формула строения будет следующей:

$$I(0 = 10, 11) \rightarrow II(1, 2) \rightarrow II(3, 4) \rightarrow II(5, 6) \rightarrow II(7, 8) \rightarrow II(9).$$

Таким образом, обобщенной координатой q входного звена 11 с точкой B_2 механизма данной схеме на рис. 1 будет координата y_{B_2} , зависящая от перемещения S_B поршня

$y_{B_2} = y_0 + S_B$, где y_0 – минимальная координата точки B_2 в сложенном нижнем положении механизма, когда шарнир B_2 касается своим наружным размером d неподвижного шарнира A стойки, $y_0 \approx d$.

Соответственно (при указанных размерах $l_1 = l_2 = \dots = l_8 = l$ и $l_{AS_1} = l_{BS_2} = \dots = l_{BS_3} = l_{BS_4} = 0,5l$) для первой нижней структурной группы звеньев 1 и 2:

$$y_{D_1} = y_{B_2}; \quad y_{S_1} = y_{S_1} = 0,5y_{B_2}; \quad x_{S_1} = x_{S_2} = x_{S_1} = 0,5l \cdot \cos \varphi_1; \quad x_C = x_{D_1} = l \cdot \cos \varphi_1.$$

Угловые координаты звеньев:

$$\left. \begin{aligned} \varphi_1 &= \arcsin(y_{B_2} / l); \quad \varphi_2 = 180^\circ - \varphi_1; \\ \varphi_3 &= \varphi_5 = \varphi_7 = \varphi_1; \quad \varphi_4 = \varphi_6 = \varphi_8 = \varphi_1; \\ x_C &= x_{D_1} = l \cdot \cos \varphi_1; \quad x_{S_1} = x_{S_2} = x_{S_1} = 0,5l \cdot \cos \varphi_1. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Точки D_1 и $S_{1,2}$ движутся по дуге окружностей радиусами l и $0,5l$ с центром B_2 . Во второй структурной группе звеньев 3 и 4 точки D_3 и $S_{3,4}$ движутся по сложным траекториям, получаемым в виде поступательного переносного движения точки B_2 и относительного вращательного движения вокруг B_2 по радиусам окружностей l и $0,5l$.

$$\left. \begin{aligned} y_{B_4} &= 2y_{B_1} = 2(y_0 + S_B); & y_{S_3} &= y_{S_4} = y_{S_{1,2}} + 2y_{S_1} = 1,5y_{B_2}; \\ \varphi_3 &= \varphi_1 = \arcsin(y_{B_2} / l); & \varphi_4 &= 180^\circ - \varphi_1; \\ x_{D_3} &= x_{D_1} = l \cdot \cos \varphi_1; & x_{S_3} &= x_{S_4} = 0,5l \cdot \cos \varphi_1. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Аналогично для структурной группы звеньев 5 и 6:

$$\left. \begin{aligned} y_{B_6} &= 3y_{B_1} = 3(y_0 + S_B); & y_{S_5} &= y_{S_6} = y_{S_3} + 2y_{S_1} = 2,5y_{B_2}; \\ \varphi_5 &= \varphi_1 = \arcsin(y_{B_2} / l); & \varphi_6 &= 180^\circ - \varphi_1; \\ x_{D_5} &= x_{D_1} = l \cdot \cos \varphi_1; & x_{S_5} &= x_{S_6} = 0,5l \cdot \cos \varphi_1. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Для группы звеньев 7 и 8:

$$\left. \begin{aligned} y_{B_8} &= 4y_{B_2} = 4(y_0 + S_B); & Y_{S_7} &= Y_{S_8} = Y_{S_5} + 2Y_{S_1} = 3,5Y_{B_2}; \\ \varphi_7 &= \varphi_1 = \arcsin(y_{B_2} / l); & \varphi_8 &= 180^\circ - \varphi_1; \\ x_{D_7} &= x_{D_1} = l \cdot \cos \varphi_1; & X_{S_7} &= X_{S_8} = 0,5l \cdot \cos \varphi_1. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Обобщая полученные выражения координат для любой из i -ых секций (групп Ассура) такого антипараллелограммного механизма, получим:

$$\left. \begin{aligned} y_{B_{2i}} &= i \cdot y_{B_2} = i \cdot (y_0 + S_B); & y_{S_i} &= y_{S_{i+1}} = y_{S_{i-1}} + 2y_{S_1} = (i - 0,5)y_{B_2}; \\ \varphi_i &= \varphi_1 = \arcsin(y_{B_2} / l); & \varphi_{2i} &= 180^\circ - \varphi_1; \\ x_{D_{2i-1}} &= x_{D_1} = l \cdot \cos \varphi_1; & x_{S_i} &= x_{S_{i+1}} = 0,5l \cdot \cos \varphi_1; \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где $i = 1, 2, \dots, N$; N – число секций (групп Ассура) механизма.

Дифференцируя полученные выражения (1) координат по времени t , получим формулы для скоростей точек и звеньев:

- для первой нижней группы:

$$\left. \begin{aligned}
 V_{B_2} = V_{B_2}^Y &= dY_{B_2}/dt = dS_B/dt = V_{11} = V_{D_1}^Y \\
 \text{где } V_{11} &\text{ — заданная скорость поршня гидроцилиндра 11 входного звена;} \\
 V_{S_1}^Y = V_{S_2}^Y &= 0,5V_{11}; \quad V_C = V_{D_1}^X = -l \cdot \omega_1 \cdot \sin \varphi_1 = -V_{11} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1; \\
 V_{S_1}^X = V_{S_2}^X &= 0,5V_{11} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1; \quad \omega_1 = -\omega_2 = V_{11}/l \cos \varphi_1;
 \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

- для любой группы под номером i :

$$\left. \begin{aligned}
 V_{B_i} &= i \cdot V_{11}; \quad V_{S_i}^X = V_{S_{i+1}}^X = 0,5V_{11} \cdot \operatorname{tg} \varphi_1; \\
 V_{D_i}^X &= -l \cdot \omega \cdot \cos \varphi_1; \quad V_{S_i}^Y = V_{S_{i+1}}^Y = (i - 0,5)V_{11}; \\
 \omega_i &= -\omega_{i+1} = V_{11}/l \cdot \cos \varphi_1.
 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

После вторичного дифференцирования уравнений (6), (7) по времени t получим формулы для определения ускорений точек и звеньев в начале подъема:

- для первой i -группы:

$$a_{B_2} = a_{B_2}^Y = dV_{B_2}/dt = dV_{11}/dt = a_{11} = a_{D_1}^Y;$$

где a_{11} — заданное ускорение ведущего поршня;

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_1 = -\varepsilon_2 &= \frac{a_{11}}{l \cdot \cos \varphi_1} + \frac{V_{11}^2 \cdot \operatorname{tg} \varphi_1}{l^2 \cdot \cos^2 \varphi_1}; \quad a_C = a_{D_1}^X = -l(\varepsilon_1 \cdot \sin \varphi_1 + \omega_1^2 \cdot \cos \varphi_1); \\
 a_{S_1}^X &= a_{S_2}^X = 0,5a_{D_1}^X; \quad a_{S_1}^Y = a_{S_2}^Y = 0,5a_{11};
 \end{aligned}$$

- для любой i -группы:

$$\begin{aligned}
 a_{B_i} &= a_D^Y = i \cdot a_{11}; \quad a_{D_i}^X = a_{D_{i+1}}^X = -l(\varepsilon_1 \cdot \sin \varphi_1 + \omega_1^2 \cdot \cos \varphi_1); \\
 a_{S_i}^X &= a_{S_{i+1}}^X = 0,5a_{D_i}^X; \quad a_{S_i}^Y = a_{S_{i+1}}^Y = (i - 0,5)a_{11}; \quad \varepsilon_i = -\varepsilon_{i+1} = \varepsilon_1.
 \end{aligned}$$

Таким образом, каждая i -ая группа является множителем координат, скоростей и ускорений ведущей точки В 1-ой нижней группы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины. 6-е изд., перераб. — М.: Высшая школа, 1985. — 520с.
2. Комаров М.С. Динамика грузоподъемных машин. — М. — Киев: Машгиз, 1962. — 267с.
3. Современные подъемники: [Сборник]. — М.: Знание, 1983. — 63с.
4. Астахов Э.И., Гарах В.А., Макаров А.Д. Динамический анализ движения поршня гидропривода ножничного подъемника // В сб. «Машиностроение», вып. 24, Минск: БНТУ, 2008, с. 34-37.
5. Астахов Э.И., Гарах В.А., Макаров А.Д. Моделирование динамики подъема площадки ножничного подъемника // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сб. научн.-метод. раб. Вып.24, — Минск: Технопринт, 2009, с.313-317.
6. Гарах В.А., Астахов Э.И. Определение реакций и анализ нагруженности рычажного механизма ножничного подъемника // В сб. «Машиностроение». Вып. 25. — Минск: БНТУ, 2009, с.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОЦЕНКИ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ РАБОЧИХ ПЛОЩАДОК ПОД УСТАНОВКУ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Создание автоматизированных станочных комплексов, удовлетворяющих современным требованиям промышленности к их точности, производительности и надежности при наименьших расходах металла и энергии, возможно только на основе учета всех динамических процессов виброакустической среды, окружающий станочные комплексы.

Все чаще именно колебательные, динамические процессы, происходящие в окружающей среде и воздействующие на элементы станочного комплекса, не позволяют достичь желаемых характеристик машины.

Поэтому современный инженер-станочник должен иметь соответствующий набор алгоритмов и программ, позволяющих проводить численно-аналитические расчеты по определению амплитудно-частотных характеристик станка и на их базе разрабатывать способы их виброзащиты.

Известно, что колебательная система с сосредоточенными параметрами, представляется уравнением вида

$$[A] \cdot \{\ddot{q}\} + [B] \cdot \{\dot{q}\} + [C] \cdot \{q\} = \{f(q, \dot{q}, t)\}, \quad (1)$$

где $[A]$, $[B]$, $[C]$ – квадратные матрицы, элементами которых являются инерционные, диссипативные и жесткостные системы;

$\{q\}$, $\{\dot{q}\}$, $\{\ddot{q}\}$ – вектора независимых переменных (перемещения, скорости и ускорения);

$\{f(q, \dot{q}, t)\}$ – вектор нелинейных, параметрических членов и внешних вынуждающих сил.

Вектор-функция $\{f\}$ в системе уравнения (1) зависит, как от типа машины, так и от окружающей среды в которой находится данная машина.

Вопрос о динамических нагрузках, возникающий непосредственно в самой машине, достаточно полно изучен, и материалы имеются в современной литературе [2].

Динамические нагрузки, воспринимаемые корпусом (станиной) машины, со стороны фундамента, строительных конструкций, изучены не достаточно полно [3]. Это связано с тем, что теоретическое описание многофакторных процессов, происходящих в окружающей среде, носит в некоторой степени случайный характер. Поэтому определенный интерес представляют инструментальные методы, основанные на современных высокоточных измерительных приборах работающих совместно с вычислительными пакетами по обработке цифровой информации на ЭВМ.

Производственная площадка, предназначенная под установку оборудования, предварительно подвергается инструментальному обследованию в системе координат $OXYZ$ и определяются кинематические характеристики в виде виброперемещения, виброскорости и виброускорения. Полученная информация в виде $S(t)$, $S(\dot{t})$ и $S(\ddot{t})$ сохраняется в памяти прибора в цифровом виде, которая затем переносится в базу персонального компьютера, подлежащая последующей математической обработке.

В первом приближении можно допустить, что сигнал поступающего на вход измерительной аппаратуры, имеет вид полигармонических колебаний

$$u(t) = A_1 \cos \omega_1 t + A_2 \cos \omega_2 t. \quad (2)$$

При этом частоты $\omega_1 = \kappa_1 \cdot \omega$, $\omega_2 = \kappa_2 \cdot \omega$, где κ_1, κ_2 – целые числа, причем их отношение является несократимой дробью, тогда функция $u(t)$ является периодической с периодом $2\pi/\omega$.

Экспериментальная функция $u(t)$ с периодом $T = 2\pi/\omega$ представляем в виде ряда Фурье:

$$u(t) = a_0 / 2 + \sum_{k=1}^{\infty} a_k \cos k\omega t + \sum_{k=1}^{\infty} b_k \sin k\omega t, \quad (3)$$

где $a_0 / 2$ – характеризует среднее значение измеряемой величины;

a_k и b_k – коэффициент ряда Фурье при $k = 1, 2, 3, \dots, \infty$, характеризующие соответственно первую, вторую и т. д. гармоники периодического процесса.

В таком представлении совокупность частот ω_k ($k = 1, 2, 3, \dots$) в порядке их возрастания образуют частотный спектр, каждой из частот которого соответствует своя амплитуда и начальная фаза:

$$A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}, \quad \psi_k = \arctg(a_k / b_k).$$

Совокупность амплитуд A_k и начальных фаз ψ_k в порядке возрастания частоты ω_k образуют амплитудно-фазовый спектр функции $u(t)$.

Таким образом, колебательный процесс, создаваемый кинематическим возмущением в заданной точке и в указанном направлении регистрируется измерительным прибором в виде функции $u(t)$, которая затем после обработки на ПЭВМ представляется в виде амплитудно-фазового спектра.

На рабочей площадке намечаются точки измерения функции $u(t)$ и указываются направления x, y и z в системе координат, связанной с площадкой. После проведения всех измерений с последующей обработкой в базе данных будет храниться информация о значениях амплитуд, фаз и спектральной частоты кинематического возмущения рабочей площадки во всех точках по трем осям измерения. Анализ полученной информации позволяет выбрать самую рабочую площадку, а также способ крепления станины, рассчитать параметры виброизолятора с учетом допустимой величины виброперемещения (виброускорения).

ЛИТЕРАТУРА

1. Вибрации в технике: Справочник в 6-ти томах / Ред. совет: В. Н. Челомей. – М.: Машиностроение, 1976.
2. Орликов М. Л. Динамика станков: Учебное пособие для Вузов. – Киев.: Высшая школа. Головное издательство, 1980. – 256с.
3. Каминская В. В. Решетов Д. Н. Фундаменты и установка металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1975. – 207с.
4. Динамический расчет зданий и сооружений: Справочник проектировщика. Под ред. Б. Г. Коренева, И. М. Рабитовича. М.: Стройиздат, 1984. – 303с.

АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ШЕРОХОВАТОСТИ И МИКРОТВЕРДОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЬЕВ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН ПРИ ИХ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Для химико-термической обработки (ХТО) шестерен в настоящее время наиболее часто используются газовые цементация, нитроцементация и азотирование. Азотирование обеспечивает малую глубину упрочненного слоя (0,2 – 0,6 мм) и рекомендуется для зубчатых колес с $m < 3$ мм. Объектом исследования были высоконагруженные цилиндрические зубчатые колеса тракторов и грузовых автомобилей с $m = 3,5 - 5,0$ мм из сталей 25ХГТ и 20ХН3А. Для таких шестерен рекомендуется глубина упрочненного слоя в пределах $h = 0,8 - 1,2$ мм [1, 2]. Эта глубина может быть обеспечена при цементации и нитроцементации. Использование для нитроцементации более низкой температуры, чем при газовой цементации (840° вместо 930°), и применение ступенчатой закалки в горячем масле обеспечивают значительное снижение деформации изделий. Биеение зубчатого венца цилиндрических шестерен с $m = 4$ мм при этом составляет 0,08 мм вместо 0,12 мм, обычно получаемых после газовой цементации, деформация по профилю зуба не превышает 0,04 мм. При производстве шестерен в условиях МТЗ 53% наименований, а в условиях МЗШ 77% наименований подвергают нитроцементации. Поэтому этот процесс был выбран нами в качестве объекта исследования.

При выполнении цементации и нитроцементации используют безмуфельные агрегаты (БМА), шахтные печи, однокамерные печи многоцелевого назначения (фирм Ipsen – ФРГ, Aichelin – Австрия, Holcroft – США и др.).

Применение автоматизированных БМА непрерывного действия особенно, в условиях крупносерийного производства, которое характерно для изготовления тракторов и грузовых автомобилей, имеет ряд преимуществ: повышение на 50% удельной производительности и снижение на 25% удельного расхода жаропрочных сталей. Весь цикл ХТО, вплоть до промывки и отпуска, полностью автоматизирован.

При производстве шестерен в условиях МТЗ 83%, а в условиях МЗШ 100% наименований проходят ХТО в БМА. Поэтому в качестве оборудования для выполнения процесса нитроцементации с последующей термообработкой нами был принят БМА.

Данное исследование было выполнено в производственных условиях Минского завода шестерен (МЗШ) для 4-х партий колес (по 2 партии для каждого материала). ХТО производилось после шевингования зубьев. Обработка каждой партии колес объемом 20 – 30 шт. на отдельной операции выполнялась при постоянных рациональных условиях, с соблюдением требований НТД к оборудованию и оснастке. Измерения параметра шероховатости R_a и микротвердости боковой поверхности зубьев H_{μ} до и после ХТО производились на одних и тех же шестернях и зубьях. На каждой шестерне измерения выполнялись на 4-х зубьях, равномерно расположенных по окружности зубчатого венца (через 90°). Для измерений в основном использовались вырезанные из зубьев сегменты.

Измерения R_a на каждом зубе или сегменте выполнялись в 3-х зонах по высоте зуба: у вершины, в зоне делительной окружности и у впадины зуба. В расчет далее принималось усредненное значение параметра R_a для каждого зуба. Для измерений R_a использовался профилограф - профилометр мод. 202. Измерения микротвердости поверхности зубьев производились в зоне делительной окружности, т. к. основными причинами выхода из строя изучаемых шестерен тракторов и автомобилей являются усталостные выкрашивание и отслаивание поверхности

зубьев в зоне делительной окружности. Измерения производились с помощью прибора ПМТ-1 в трех точках по длине зуба (сегмента) и усреднялись.

На первом этапе обработки экспериментальных данных нами были построены эмпирические линии регрессии, характеризующие взаимосвязи изученных параметров качества поверхностей зубьев цилиндрических шестерен после ХТО с их исходными значениями перед данной операцией, т.е. после шевингования.

Пример таких линий показан на рис. 1.

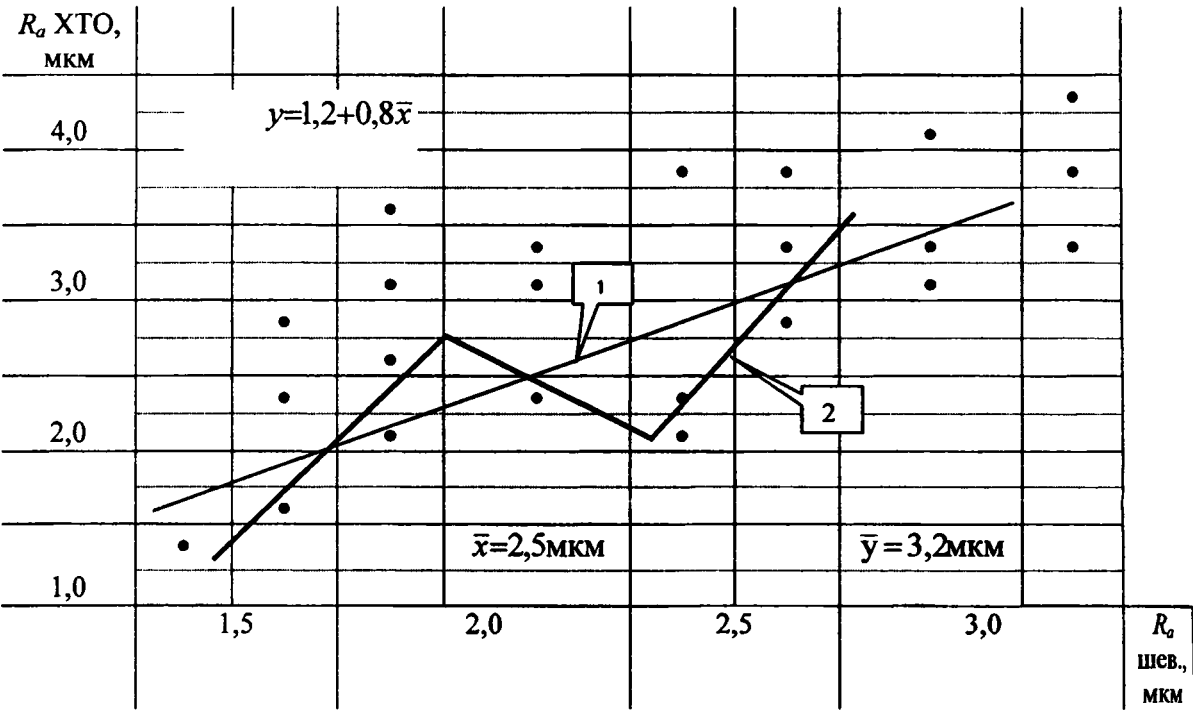


Рис. 1. Зависимость шероховатости поверхности зубьев цилиндрических шестерен после ХТО от исходных значений (зубчатое колесо $m = 2,5$ мм, $z = 20$, материал детали – сталь 25ХГТ):
1 – теоретическая линия регрессии; 2 – эмпирическая линия регрессии

Анализ этих линий свидетельствует о том, что между рассмотренными показателями качества поверхности зубьев цилиндрических шестерен после ХТО и их исходными значениями существует достаточно тесная взаимосвязь и она близка к линейной.

Затем нами были выполнены расчеты характеристик этих взаимосвязей.

В таблице 1 приведены усредненные результаты выполненных расчетов для исследованных зубчатых колес, в которой приняты следующие обозначения:

\bar{x} , \bar{y} , S_x , S_y – средние арифметические значения и средние квадратические отклонения рассматриваемого параметра качества до и после ХТО;

$V = \frac{\bar{x}}{\bar{y}}$ – коэффициент изменения данного параметра качества при ХТО;

a , b – коэффициенты уравнения регрессии $\bar{y} = a + b\bar{x}$, описывающего изменение данного параметра качества при ХТО;

η_z , η_r , r_{xy} – эмпирическое и теоретическое (для полинома второй степени) корреляционные отклонения, коэффициент парной корреляции между значениями данного параметра качества до и после ХТО;

t_r – критерий Стьюдента достоверности значения r_{xy} ;

$\epsilon_{\text{ср.}}$ – средняя относительная ошибка уравнения регрессии $\bar{y} = f(\bar{x})$;

F – критерий Фишера адекватности уравнения регрессии;

$A\%$, $B\%$ – доли S_y^2 , которые возникают на операции ХТО ($A\%$) и наследуются с предыдущей операции ($B\%$).

Таблица 1 – Статистические характеристики процессов изменения параметров качества поверхностей зубьев при химико-термической обработке (ХТО) цилиндрических шестерен

Материал зубчатых колес	Основные статистические характеристики							
	\bar{x}	\bar{y}	S_x	S_y	V	a	b	η
$R_a \text{ ХТО} = f(R_a \text{ шев.}), \text{ мкм}$								
Сталь 25ХГТ	2,762	2,979	0,825	0,95	0,93	1,11	0,75	0,72
Сталь 20ХН3А	1,22	1,235	0,12	0,35	0,99	0,48	0,62	0,73
$H_u \text{ ХТО} = f(H_u \text{ шев.}), \text{ кг/мм}^2$								
Сталь 25ХГТ	1887,8	8844,6	147,5	1158,4	0,21	2938,3	3,13	0,45
Сталь 20ХН3А	1682,2	7607,7	97,3	477,1	0,22	4969,0	1,57	0,37

Продолжение таблицы 1

Материал зубчатых колес	Основные статистические характеристики						
	η_t	r_{xy}	t_r	$\varepsilon_{\text{ср.}}, \%$	F	$A, \%$	$B, \%$
$R_a \text{ ХТО} = f(R_a \text{ шев.}), \text{ мкм}$							
Сталь 25ХГТ	0,68	0,65	4,23	12,4	0,81	57,8	42,2
Сталь 20ХН3А	0,70	0,67	4,15	12,38	0,83	44,9	55,1
$H_u \text{ ХТО} = f(H_u \text{ шев.}), \text{ кг/мм}^2$							
Сталь 25ХГТ	0,43	0,40	2,8	10,38	0,955	84,0	16,0
Сталь 20ХН3А	0,34	0,32	3,06	11,3	0,923	90,0	10,0

Была показана адекватность приведенного выше уравнения регрессии при описании взаимосвязи рассмотренных параметров качества поверхности после ХТО с их исходными значениями. С помощью критерия ξ Романовского была доказана несущественность различий между значениями η_z , η_t и r_{xy} . Поэтому для оценки тесноты взаимосвязи рассмотренных параметров качества поверхности зубьев после ХТО с их исходными значениями можно использовать значения r_{xy} .

Укажем основные результаты выполненных нами исследований изменения характеристик качества поверхностей зубьев цилиндрических шестерен при их ХТО (нитроцементации в безмуфельных агрегатах).

Параметр R_a шероховатости боковых поверхностей зубьев.

При ХТО имеет место достаточно тесная взаимосвязь значений R_a с их исходными величинами ($r_{xy} = 0,65 - 0,67$), что свидетельствует о их пооперационном наследовании.

Уменьшение дисперсии R_a после ХТО может быть достигнуто почти в равной степени как за счет совершенствования процесса ХТО ($A = 44,9 - 57,8\%$), так и за счет улучшения процесса шевингования зубьев, как предшествующей операции ($B = 42,2 - 55,1\%$). Значения R_a при ХТО незначительно возрастают (в 1,01 – 1,07 раз).

Микротвердость H_u боковых поверхностей зубьев.

Операция ХТО не только значительно (в среднем на 326%) повышает микротвердость поверхностей зубьев, что соответствует назначению этого процесса, но и существенно преобразует набор исходных значений микротвердости ($r_{xy} = 0,32 - 0,40$), т.е. служит барьером на после шевингования и ХТО. На рисунке 2 показан пример микроструктур зубьев из стали 25ХГТ после шевингования (рис. 2,а) и ХТО (рис. 2,б). Установлено, что после ХТО происходит значительное уменьшение размера зерна и пористости, что способствует увеличению прочности зубьев.

Выводы

1. Принятая методика обработки и анализа результатов экспериментального исследования учитывает случайный характер изучаемого процесса, позволяет оценить степень тесноты и форму рассматриваемых зависимостей, разложить общую дисперсию параметров качества после данной операции на унаследованную с предыдущей операции (В) и сформированную на данной операции (А).

2. Все рассмотренные показатели качества поверхности зубьев цилиндрических шестерен (R_a , H_μ) после ХТО (нитроцементации в безмуфельном агрегате) для изученных материалов (стали 25ХГТ, 20ХН3А) достаточно тесно взаимосвязаны с их исходными значениями (после шевингования) ($r_{xy} = 0,32-0,67$) и эти взаимосвязи с достаточной точностью ($\epsilon_{cp} = 10,38-12,4\%$) могут быть описаны полиномом первой степени.

3. Значения параметра шероховатости R_a поверхностей зубьев после ХТО достаточно тесно связаны с их исходными значениями ($r_{xy} = 0,65 - 0,67$). Регулирование значений R_a после ХТО должно производиться как за счет оптимизации исходных значений (В = 42,2 – 55,1%), так и за счет управления процессом ХТО (А = 44,9 – 57,8%). ХТО незначительно увеличивает исходные значения R_a (в 1,01 – 1,07 раз).

4. Значения микротвердости H_μ поверхности зубьев при ХТО значительно увеличиваются (в среднем на 326%) и менее тесно по сравнению с другими характеристиками качества поверхностей зубьев взаимосвязаны со своими исходными значениями ($r_{xy} = 0,32 - 0,40$). Управление значениями H_μ после ХТО следует осуществлять в основном за счет самого процесса ХТО (А = 74,0 – 90,0%). Оптимизация исходных перед ХТО значений H_μ на 10,0 – 16,0% обеспечивает дисперсию H_μ после ХТО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кораблев А.И., Решетов Д.Н. Повышение несущей способности и долговечности зубоперепач. –М.: Машиностроение, 1968. –288с.

УДК 621.793

Шелег В.К., Присевок А.Ф., Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОКРЫТИЙ ИЗ ПОРОШКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Введение. Порошковые материалы, получаемые методами порошковой металлургии, в отличие от литейных обладают рядом полезных и управляемых в определенных пределах свойств. К их числу относят пористость, твердость, тугоплавкость, особые триботехнические, электрические и магнитные свойства, экономичность и экологичность, что обуславливает широкое применение подобных материалов в машиностроении для изготовления изделий различного назначения, а также для нанесения функциональных покрытий [1]. Легирование металлических порошков компонентами твердой смазки (графитом, дисульфидом молибдена и т.п.), а также присадками, повышающими прочностные свойства материала, позволяет увеличить срок их службы в несколько раз. Для формирования покрытий из порошковых материалов используют такие способы, как газопламенное, плазменное и детонационное напыление, электроконтактное, электроимпульсное, индукционное припекание, электродуговая и индукционная наплавка. Однако большинство из этих методов обладает значительной энергоемкостью, требуют

проведения дополнительных операций по подготовке поверхности и последующей обработке сформированного покрытия, что отрицательно сказывается на себестоимости покрытия. Перспективным методом формирования покрытий, лишенным указанных недостатков, является метод плакирования гибким инструментом (ПГИ), основанный на взаимодействии вращающейся металлической щетки с материалом покрытия и поверхностью обрабатываемой детали [2, 3]. Однако данных о возможности формирования покрытий из порошковых материалов и их работоспособности в известных публикациях не приводится.

Цель работы заключалась в исследовании структуры и работоспособности покрытий, сформированных методом ПГИ из порошковых композиционных материалов.

Методики исследований. Для нанесения покрытий в качестве доноров использовали полученный методом экструзии брусок из меди М1, легированной ультрадисперсной алмазнографитной шихтой УДАГ (ТУ РБ 28619110.001-95) производства фирмы «Синта» (РБ), в количестве не более 1 мас. %, и брусок из спеченной бронзы БрО5С25, легированной графитом, в количестве 1 мас.%, и дисульфидом молибдена, в количестве 0,5 мас. %. Размерность зерен алмазнографитной шихты составляла 4...6 нм, графита и дисульфида молибдена - 1..5 мкм.

Нанесение покрытий осуществляли проволочной щеткой диаметром 150 мм, с вылетом и диаметром ворса соответственно 22 и 0,25 мм. Линейная скорость вращения щетки составляла 35,0...38,0 м/с. Покрытия наносили на плоские поверхности дисков-образцов из стали 08кп (90 НВ). При этом формировали как однослойные, так и двухслойные покрытия. Ранее выполненные исследования показали, что нанесение дополнительного слоя из антифрикционного сплава с компонентами меди, олова, свинца и цинка (например, баббита) способствует снижению коэффициента трения и времени приработки сопряжения [4]. В связи с этим в настоящих исследованиях поверх нанесенных слоев из вышеуказанных материалов наносили слой из баббита, легированного частицами графита. После нанесения покрытий дополнительной механической обработки не проводилось. Среднее значение параметра шероховатости R_a поверхности образцов с покрытиями составляло 0,55...0,9 мкм. Толщина покрытий составляла 4...5 мкм.

Работоспособность покрытий из порошковых материалов оценивали по критериям износостойкости и антифрикционности. Испытания на трение и изнашивание выполняли на установке, реализующей трение торцовых поверхностей трех роликов из стали ШХ15 (60...63 HRC) по плоской поверхности вращающегося диска из стали 08кп с нанесенными покрытиями. Скорость относительного скольжения трущихся поверхностей составляла 7 м/с. При этом сначала образцы прирабатывались в течение 30 мин при давлении $p = 0,5$ МПа, затем выполнялось ступенчатое нагружение до возникновения заедания. До давления $p = 1,5$ МПа величину силового воздействия на каждой ступени увеличивали на 0,5 МПа, а после – на 0,25 МПа. Продолжительность испытаний на каждой ступени нагружения составляла 5 мин. Смазывание дорожки трения на диске производили с помощью фитиля, пропитываемого (в ограниченном количестве) маслом М10В. Контурная площадь поверхности взаимного прилегания образцов при установке на машину трения согласно требованиям ГОСТ 23.224-86 составляла не менее 90 %.

В ходе испытаний на каждой ступени нагружения регистрировали момент трения, приrost температуры образца и контробразца от начала до завершения испытаний, а также весовой износ образца и сопряженных контробразцов, который затем пересчитывали в массовую интенсивность изнашивания.

Рентгеноструктурный анализ композиционных покрытий выполняли с помощью дифрактометра ДРОН-3.0. Рентгеновская съемка образцов проводилась с фокусировкой по Бреггу-Брентано в режиме сканирования (по точкам) с шагом $0,1^\circ$ и временем набора импульсов на точку, равным 40 с. Для фазового анализа использовалась стандартная картотека PDF. При определении величины физического уширения дифракционных линий матричной фазы β , связанной с плотностью дефектов кристаллической решетки в поверхностных слоях, использовался метод аппроксимации [5].

Определение напряжений в плакированном слое проводилось методом рентгеновской тензометрии с использованием способа наклонной съемки [5]. Окончательный расчет напряжений σ_ϕ проводился по формуле:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{E}{1+\mu} \cdot \frac{d_{\psi} - d_0}{d_0}$$

где E – модуль упругости, μ – коэффициент Пуассона, ψ – угол наклона, d_{ψ} – межплоскостное расстояние для дифракционных линий (222) плакированной меди и (220) – стальной подложки, снятых под углами $\psi = 0, 20, 40$ и 50° , d_0 – межплоскостное расстояние для дифракционных линий (222) и (220), снятых под углом $\psi = 0^\circ$. Значения модулей упругости для меди и железа брались равными соответственно 122 и 220 ГПа. Коэффициент Пуассона для меди и железа принимался равным 0,3.

Анализ полученных результатов исследований. Исследование структуры и фазового состава сформированного покрытия из легированной УДАГ меди выявило следующее. Период кристаллической решетки плакированной меди составляет 0,3610 нм. Металлоплакированный слой содержит медь, графит и ультрадисперсные алмазы (рис. 1).

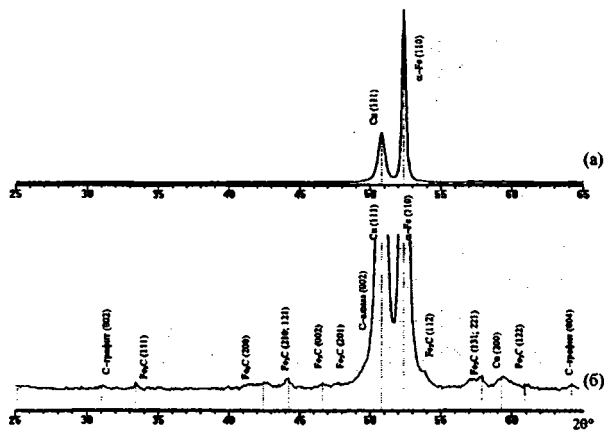


Рис. 1. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм (СоKa) от поверхностных слоев стали, плакированной покрытием Си-УДАГ, в масштабе 1:1 (а) и в масштабе 1:10 (б)

Из приведенной на рис. 1 рентгеновской дифрактограммы от поверхностного слоя плакированного материала можно видеть, что содержание модифицирующей алмазнографитной добавки УДАГ в нанесенном слое невелико. Кроме этого, на дифрактограмме регистрируются сильные линии от α -Fe и слабые рефлексы отраженного рентгеновского излучения от частиц карбида Fe_3C , принадлежащие стальной подложке, на которую нанесен плакирующий слой. Дифракционные линии меди в плакированном слое весьма сильно уширены по сравнению с исходной отожженной медью (рис. 2),

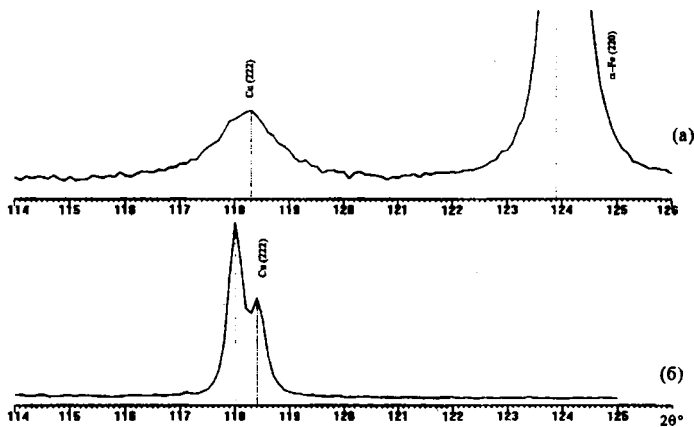


Рис. 2. Фрагменты рентгеновских дифрактограмм ($\text{CoK}\alpha$) от поверхностных слоев металло-плакированной стали (а) и отожженной меди М1 (б)

что указывает на существенное увеличение плотности дефектов кристаллической решетки и измельчение структуры в плакированной меди. В частности, значения физического уширения дифракционных линий (111) и (222) плакированной меди составляют соответственно $\beta_{(111)} = 11,2 \cdot 10^{-3}$ и $\beta_{(222)} = 24,9 \cdot 10^{-3}$ рад.

Вместе с тем, регистрируемая в эксперименте величина отношения $\beta_{(222)} / \beta_{(111)} \cong 2,2$ достаточно близка к величине отношения $\sec\theta_{(222)} / \sec\theta_{(111)} \cong 1,8$, что свидетельствует о преимущественно коррелированном расположении дислокаций в виде стенок, образующих границы блоков или субзерен [5] в медной пленке. Последнее позволило рассчитать размер ячеек (блоков) D, формирующихся в медной пленке при ее намазывании щеткой на сталь. Значение D, оцененное по величине $\beta_{(222)}$, составляет 16–20 нм, что свидетельствует о формировании ультрадисперсной структуры в плакированном слое.

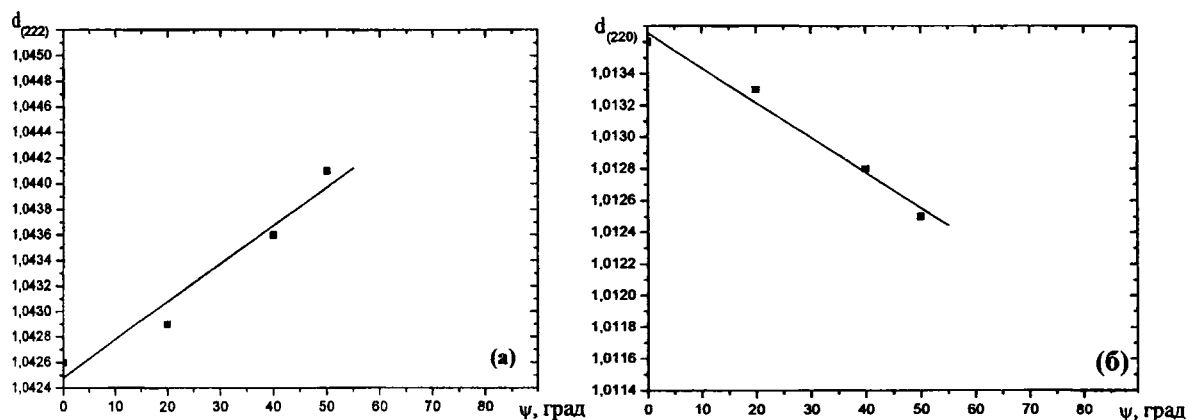


Рис.3. Зависимость межплоскостных расстояний d_{222} плакированной меди (а) и d_{220} стальной подложки (б) от угла наклонной съемки

На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости межплоскостных расстояний, определенных по линиям (222) для плакированной меди и (220) для стальной подложки, в зависимости от угла ψ при наклонной съемке. Можно видеть, что при увеличении угла ψ межплоскостные расстояния для меди и стальной подложки изменяются различным образом, что свидетельствует о различии в упруго-напряженном состоянии подложки и плакированной медной пленки. Результаты расчетов показывают, что в плакированном слое меди, легированной УДАГ, сформированы остаточные растягивающие напряжения $\sigma_f = 225$ МПа, а в поверхностном слое стальной подложки - остаточные сжимающие напряжения $\sigma_f = -280$ МПа.

Указанный факт позволяет использовать покрытие в качестве барьерного слоя между подложкой и сопряженной деталью, обеспечивая мягкий режим работы сопряжения за счет демпфирования возникающих в процессе работы колебаний. Триботехнические испытания пар трения с однослойными и двухслойными покрытиями из композиционных порошковых материалов показали, что покрытия из материалов, легированных УДАГ, а также компонентами твердой смазки (графитом и дисульфидом молибдена) способствуют снижению коэффициента трения и повышению нагрузочной способности поверхностного слоя трущихся деталей, по сравнению с образцами без покрытия (рис. 4).

Критическая нагрузка, при которой произошло схватывание и заедание образцов с двухслойным покрытием, состоящим из последовательно нанесенных слоев меди М1, легированной УДАГ, и баббита, легированного графитом, составила 5,26 МПа, что в 2 раза превышает критическую нагрузку образцов без покрытия. Коэффициент трения при этом уменьшился в 3,0...3,3 раза.

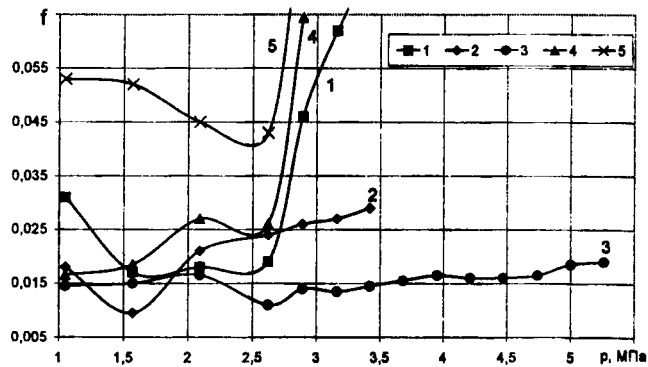


Рис. 4. Зависимость коэффициента трения от нагрузки для пар трения с испытываемыми покрытиями:

1 – покрытие M1+УДАГ; 2 – покрытие BrO5C25+C+MoS2;
3 – покрытие (M1+УДАГ)–(бabbит+C);
4 – покрытие (BrO5C25+C+ MoS2)–(бabbит+C); 5 – без покрытия

Легирование покрытия из бронзы частицами графита и MoS₂ способствовало созданию благоприятных условий трения, в результате чего коэффициент трения уменьшился в 1,8...2 раза, а нагрузочная способность повысилась в 1,3 раза, по сравнению с образцом без покрытия. Нанесение поверх слоя покрытия из бронзы BrO5C25, легированной графитом и дисульфидом молибдена, дополнительного слоя из легированного баббита способствовало снижению коэффициента трения в интервале нагрузок 1...2,5 МПа до 0,018...0,03, однако нагрузочная способность покрытия не увеличилась.

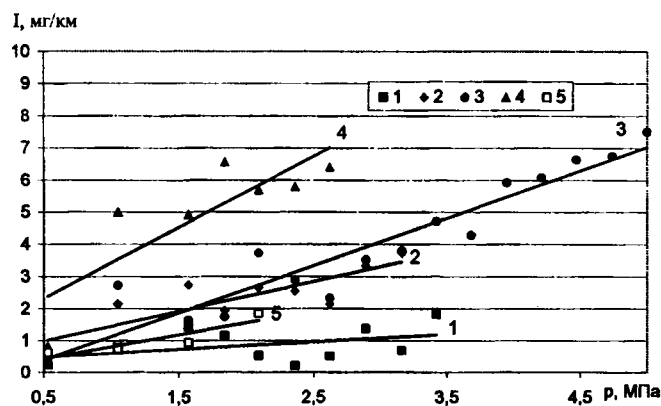


Рис. 5. зависимость интенсивности изнашивания сопряжения от нагрузки:

1 – M1+УДАГ; 2 – BrO5C25+C+MoS2; 3 – (M1+УДАГ)–(бabbит+C); 4 – (BrO5C25+C+ MoS2)–(бabbит+C); 5 – без покрытия

С ростом нагрузки интенсивность изнашивания испытываемых образцов (дисков и роликов) возрастает у всех пар трения (рис. 5). Меньшую интенсивность изнашивания имеют пары трения с однослойным и двухслойным покрытием с УДАГ-наполнителями.

Однако анализ изнашиваемости контрообразцов (роликов) в процессе испытаний показал, что в некоторых случаях их износ, несмотря на более высокую твердость, превышает износ дисков с покрытием. У наилучшего, с точки зрения триботехнических характеристик, двухслойного покрытия (M1+УДАГ)–(бabbит+C) износ роликов намного превышает износ дисков. Это дает основание предположить, что наноразмерные наполнители из УДАГ шаржируют поверхность диска и, вследствие высокой твердости, подобно микрорезцам режут трущиеся поверхности роликов.

Заключение. Результаты исследования структуры и фазового состава покрытий, сформированных методом ПГИ из порошковых материалов, легированных наноразмерными фазами

из неметаллических компонентов, подтверждают наличие неметаллических компонентов в составе модифицированного поверхностного слоя. Однако их содержание в этом слое невелико и составляет примерно 35...45 % от количества в исходном материале. В результате обработки вращающейся металлической щеткой в плакированном поверхностном слое формируются остаточные напряжения растяжения величиной $\sigma_f = 225$ МПа, а в прилегающей к этому слою стальной подложке – напряжения сжатия величиной $\sigma_f = -280$ МПа. Таким образом, упрочненная стальная основа обеспечивает высокую нагрузочную способность сопряжения, а пластичное покрытие служит барьерным слоем между подложкой и сопряженной деталью.

Значительного снижения коэффициента трения скольжения и повышения нагрузочной способности поверхностного слоя можно добиться, используя двухслойные покрытия из последовательно нанесенных слоев меди М1, легированной ультрадисперсной алмазнографитной шихтой УДАГ, и легированного частицами графита баббита. По сравнению с парой трения без покрытия, подобные покрытия в 3,0...3,3 раза снижают коэффициент трения скольжения и в 2 раза повышают нагрузочную способность сформированного слоя. Однако в случаях, когда условия работы пары трения не допускают чрезмерного износа сопряженной детали, целесообразно использовать покрытия из бронзы, легированной компонентами твердой смазки. Для пар трения, работающих при удельных давлениях до 3,5 МПа, высокую износостойкость обеспечит однослойное покрытие из меди М1, легированной УДАГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Металлические порошки и порошковые материалы: справочник / Б.Н. Бабич [и др.] ; под ред. Ю.В. Левинского. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 520 с.
2. Белевский, Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом / Л.С. Белевский. – Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. лица РАН, 1996. – 230 с.
3. Анцупов, В.П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом / В.П. Анцупов. – Магнитогорск: МГТУ, 1999. – 242 с.
4. Леванцевич, М.А. Повышение эксплуатационных свойств трибосопряжений нанесением покрытий металлическими щетками / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, В.Г. Зольников // Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. Навук. – 2005. – № 1. – С. 67-72.
5. Горелик, С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ: учеб. пособие для вузов / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 2002. – 360 с.

УДК 620.16

Беляев Г.Я., Ильясевич Е.Г.

КОМПЛЕКСНЫЙ РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ФЛАНЦА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Комплексный размерный анализ технологического процесса изготовления фланца включает в себя размерный анализ по линейным размерам и расчет эксцентриситетов припусков обрабатываемых поверхностей с помощью теории графов.

Целью проведения размерного анализа технологического процесса по линейным размерам является определение промежуточных и окончательных размеров с допусками на них, обеспечивающих заданную чертежом точность конструкторских размеров и предельных значений припусков. Расчет эксцентриситетов припусков позволяет определить допустимые радиальные биения и проверить, обеспечивают ли полученные значения выполнение требований заданных чертежом.

1. Расчет эксцентриситетов обрабатываемых поверхностей с помощью теории графов.

Заданные чертежом диаметральные размеры и радиальные биения образуются в процессе механической обработки за одну или несколько операций или переходов. При назначении диаметральных размеров и допусков на них, необходимо решить две задачи:

1. Назначить для заготовки и для механической обработки такие технологические размеры, чтобы на последней операции выдерживался бы диаметр, заданный рабочим чертежом детали.
2. Назначить для заготовки и механической обработки технологически оправданные радиальные биения, которые обеспечили бы выполнение требований по радиальному биению, заданные чертежом.

1.1. Построение схемы обработки

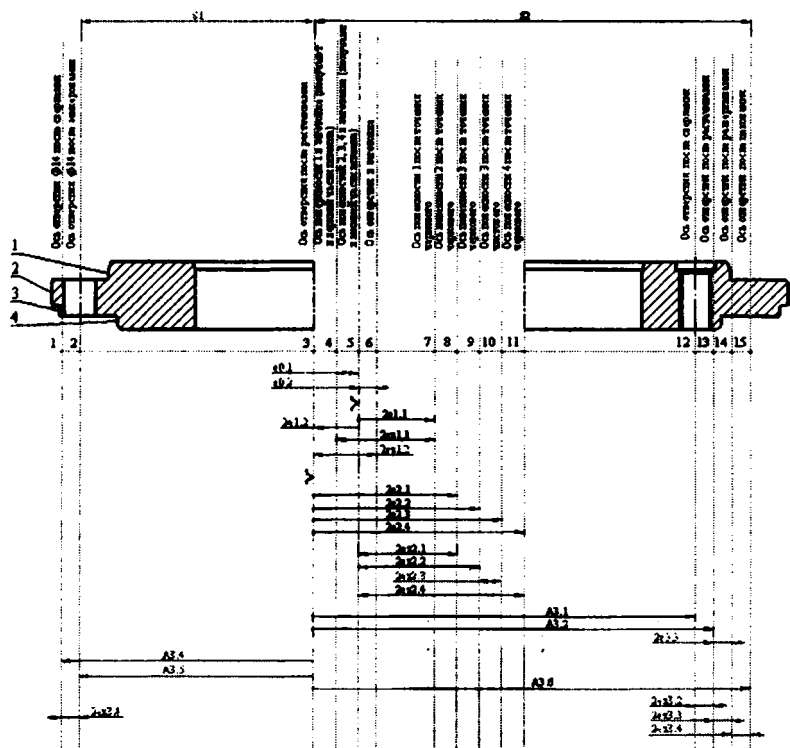


Рис. 1.1. Схема обработки детали типа фланец

При построении схемы обработки, выполняя каждый новый переход механической обработки поверхностей, необходимо указывать новую ось и рассчитывать ее смещение относительно ее прежнего положения, т.е. необходимо определить эксцентриситет припуска. Смещение осей на схеме обработки (и в расчетах) необходимо удваивать, так как каждое смещение может располагаться в любую сторону от номинала. Следовательно, расстояние между двумя предельными положениями оси равно удвоенной величине смещения, а номинальная величина смещения всегда равна нулю.

1.2. Построение дерева эксцентриситетов механической обработки

В деревьях эксцентриситетов для цилиндрических поверхностей вершины соответствуют их осям, а ребра – эксцентриситетам. Необходимо построить отдельно деревья эксцентриситетов заготовки и обрабатываемой детали. При построении дерева эксцентриситетов для одной операции все поверхности, обрабатываемые за одну установку, связываются между собой ребрами-эксцентриситетами. Затем деревья отдельных операций соединяют вместе с помощью общих вершин.

Вершины графа нумеруем следующим образом: первая цифра обозначает номер оси в соответствии со схемой обработки (см. рис. 8.1), а в скобках указывается первой цифрой номер операции или установа, второй – порядковый номер перехода. Операции и установы обозначаются в следующем порядке: 0 – заготовка; 1 – токарная, установ А; 2 – токарная, установ Б; 3 – сверлильно – расточная;

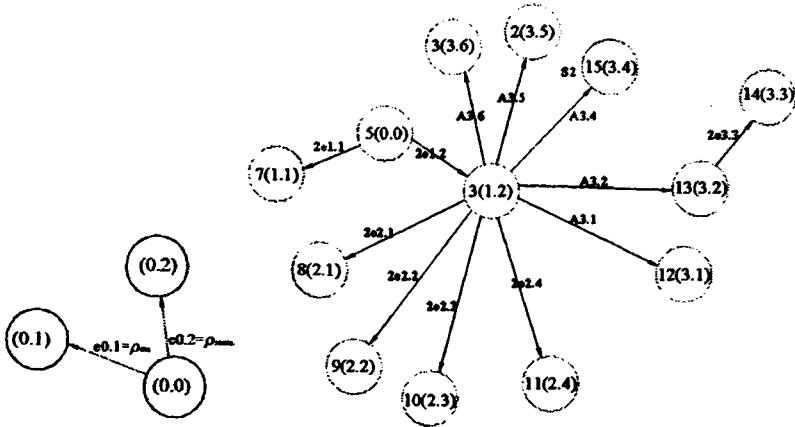


Рис. 1.2. Дерево эксцентриситетов заготовки и обрабатываемой детали

Далее на дерево эксцентриситетов наносим ребра всех эксцентриситетов припусков (e_{xi}) и заданные чертежом радиальные биения ($2TE_i$). Таким образом, получаем граф размерных цепей эксцентриситетов, по которому можно выявить любую размерную цепь и произвести суммирование погрешностей составляющих звеньев для определения ожидаемой погрешности любого замыкающего звена.

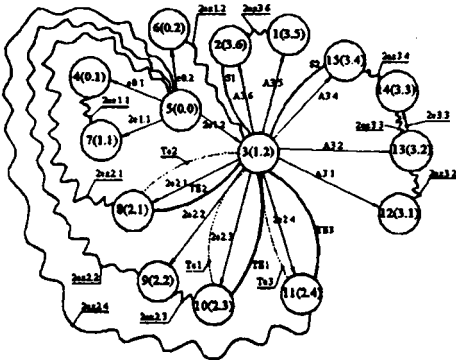


Рис. 1.3. Граф размерных цепей эксцентриситетов обрабатываемой детали

Далее выявляют размерные цепи и составляют расчетные уравнения размерных цепей. При составлении уравнений пользуются правилом “обхода”. Оно заключается в том, что замыкающему звену присваивается знак минус, и, начиная с этого звена, обходят замкнутый контур в определенном направлении. Обход начинают с вершины с меньшим порядковым номером. Если в порядке обхода следующее звено будет соединять вершину меньшего порядкового номера с вершиной большего порядкового номера, то такому ребру присваивается знак плюс. И наоборот.

Первым делом выявляют двухзвенные размерные цепи. В выявленных размерных цепях составляющими звеньями являются смещение осей обрабатываемых поверхностей (эксцентриситеты) e_i и технологические размеры A_i , а замыкающими – эксцентриситеты припусков e_{zi} , расчетные Te и заданные чертежом TE технические условия. Несколько размерных цепей и соответствующие им расчетные уравнения технологического процесса обработки фланца представлены на рисунке 1.4.

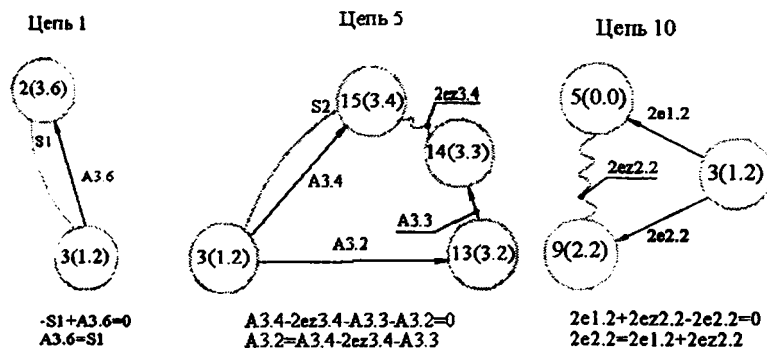


Рис. 1.4. Размерные цепи технологического процесса обработки детали типа фланец

1.3. Расчет ожидаемой погрешности (эксцентриситетов) припусков

Рассчитывают ожидаемую погрешность (эксцентриситет) припусков и определяют допустимые значения радиальных биений. Для этого необходимо знать значения погрешностей установки детали в приспособление и погрешностей формы, возникающих в процессе выполнения операций механической обработки. Расчет погрешностей установки и формы производится по формулам, приведенным в литературе [3], [4]. Для расчета величин эксцентриситетов припусков e_{zi} необходимо знать эксцентриситеты e_i , входящие в размерные цепи искомых величин. Например, для припуска $2e_{2.2}$ в размерную цепь войдут эксцентриситеты $2e_{1.2}$ и $2e_{2.2}$ (см. рис. 1.4 и таблицу 1.1).

Затем подсчитаем ожидаемую погрешность припуска по формуле:

$$e_{zi} = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + \rho_{i-1}^2}$$

где e_i — смещение осей при механической обработке. Таким образом, рассчитываем все эксцентриситеты припусков. Результаты расчетов сведем в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Расчет ожидаемой погрешности припуска

Припуск	Формула	Расчет	Значение, мм
...
$e_{2.2}$	$e_{2.2} = \sqrt{\rho_{ф.чере}^2 + e_{1.2}^2 + e_{2.2}^2}$	$e_{2.2} = \sqrt{0,024^2 + 2 \cdot 0,06^2}$	0,088
...
$e_{2.6}$	$e_{2.6} = \sqrt{\rho^2 + TA3.5^2 + TA3.6^2}$	$e_{2.6} = \sqrt{0,044^2 + 2 \cdot 0,2^2}$	0,567

1.4. Расчет допустимых радиальных биений

На графе разных цепей механической обработки проставляем указанные на чертеже радиальные биения ТЕ. ТЕ1=ТЕ2=ТЕ3=1,2 мм. Просуммировав составляющие звенья размерной цепи с погрешностями формы, получим расчетные радиальные биения. Они находятся по формуле:

$$Te_i \geq \sqrt{\sum_{j=1}^n e_i^2 + \rho_{\Phi,j}^2 + \rho_{\Phi,j-1}^2}$$

Например, значение Те₁ будет равно

$$Te_1 \geq \sqrt{2e_{2,3}^2 + \rho_{\Phi,чирн.}^2 + \rho_{\Phi,чист.}^2} = \sqrt{2 \cdot 0,06^2 + 0,024^2 + 0,00096^2} = 0,0882 \text{ мм};$$

Произведя расчеты, можно увидеть, что расчетные радиальные биения не превышают заданные чертежом. Т.е. технология обработки верна.

После определения допустимых радиальных биений рассчитаем диаметральные размеры обрабатываемых поверхностей. Особенность определения диаметральных размеров заключается в том, что в них будут учитываться смещения (эксцентриситеты) осей. Расчет будет производиться по формулам:

$$d_{zi} = d_{di} + 2 \cdot (z_{min} + e_{xi}) + T_z - \text{для наружных поверхностей};$$

$$d_{zi} = d_{di} - 2 \cdot (z_{min} - e_{xi}) - T_z - \text{для отверстий};$$

где d_{zi} – диаметр поверхности заготовки; d_{di} – диаметр поверхности детали; $2 \cdot z_{min}$ – значение припуска; $2 \cdot e_i$ – величина смещения оси (эксцентриситет); i – номер обрабатываемой поверхности.

Полученные результаты расчетов диаметральных размеров сведем в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Результаты расчета диаметральных размеров заготовки детали «Фланец»

Размер цилиндрической поверхности детали, мм	Расчетная формула	Размер цилиндрической поверхности заготовки, мм
$d_{д1} = 180_{-1} \text{ мм}$	$d_{з1} = 180 + 2 \cdot (0,55 + 0,06) + 1$	$182,22_{-1}$
...
$d_{д3} = 104^{+0,87} \text{ мм}$	$d_{з3} = 104 - 2 \cdot (0,55 + 0,802) - 0,87$	$100,43^{+0,87}$

Таким образом, произведя расчет эксцентриситетов припусков технологического процесса обработки фланца, проверили правильность проставленных на чертеже радиальных биений и рассчитали диаметральные размеры заготовки с поправкой на ошибку, возникающую из-за смещения осей.

2. Размерный анализ технологического процесса детали «Фланец» по линейным размерам

Размерный анализ по линейным размерам позволяет правильно и обосновано найти промежуточные и окончательные размеры обрабатываемой детали, допуски и припуски. Можно выявить три этапа: разработка размерной схемы техпроцесса, выявление технологических размерных цепей и расчет технологических размерных цепей.

2.1. Построение размерной схемы технологического процесса обработки фланца

Размерную схему техпроцесса составляют и оформляют в определенной последовательности. Сначала вычерчивают эскиз детали в нескольких проекциях. Для тел вращения обычно достаточно одной проекции. Затем над деталью указывают размеры длин с допусками, установленными конструкторами. Для удобства конструкторские размеры обозначаются буквой A_i . На эскиз детали условно наносят припуски z_m . Все поверхности детали нумеруются по порядку слева направо. Через пронумерованные поверхности проводят вертикальные линии. Между вертикальными линиями по порядку снизу вверх указывают технологические размеры, получаемые при выполнении каждого технологического перехода. Технологические размеры обозначают буквой S_k , где k – порядковый номер технологического перехода. Размеры же заготовки обозначают буквой Z_r , где r – порядковый номер поверхности заготовки.

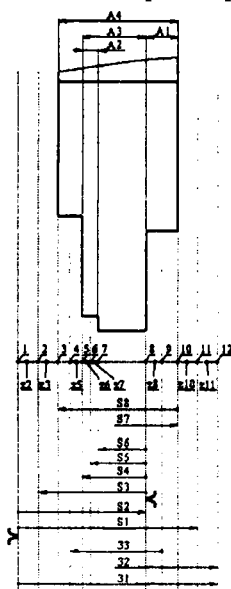


Рис. 2.1. Размерная схема техпроцесса обработки детали «Фланец»

2.2. Построение графов

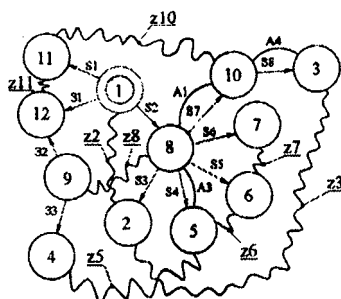


Рис. 2.2. Граф совмещенного дерева

Строятся три дерева – граф производного, граф исходного и граф совмещенного дерева. На графе производного дерева указываются технологические размеры, получаемые после каж-

дой операции и размеры заготовки. На графе исходного дерева вершины графа, соединяются между собой припусками, снимаемыми в процессе механической обработки. Также указываются конструкторские размеры. Граф совмещенного дерева представляет собой наложение графов производного и исходного деревьев.

После построения каждого дерева проверяют правильность построения по следующим признакам:

1. Число вершин у каждого дерева должно быть равно числу поверхностей на размерной схеме техпроцесса.
2. Число ребер у каждого дерева должно быть одинаковым и равным числу вершин без единицы.
3. К каждой вершине производного дерева, кроме корневой, должна подходить только одна стрелка ориентированного ребра, а к корневой вершине ни одной.
4. Деревья не должны иметь разрывов и замкнутых контуров.

2.3. Выявление и решение технологических размерных цепей

Расчет размерных цепей начинаем с двухзвенных. Затем выявляем трехзвенные размерные цепи, в которых известен один из размеров. Приведем некоторые размерные цепи на рисунке 2.3.

Далее составляем исходные уравнения размерных цепей относительно z_{min} . Уравнение будет иметь вид:

$$z_{min} = \sum_{j=1}^{n_j} EI_{A_j} - \sum_{g=1}^{n_g} ES_{A_g}$$

где EI_{A_j} — наименьший предельный размер увеличивающего звена размерной цепи; ES_{A_g} — наибольший предельный размер уменьшающего звена размерной цепи; n_j — число увеличивающих звеньев размерной цепи;

n_g — число уменьшающих звеньев размерной цепи;

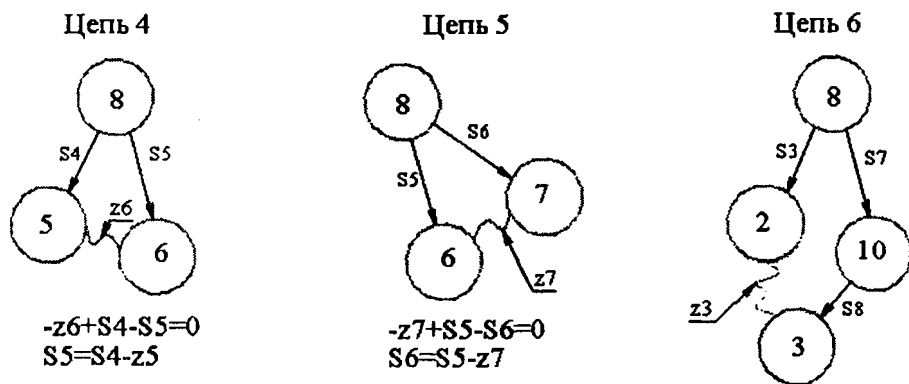


Рис. 2.3. Размерные цепи технологического процесса обработки детали типа фланец

И в результате получаем уравнения с одной неизвестной, решая которые получаем значения операционных размеров и припусков с отклонениями на них.

В результате проведения размерного анализа техпроцесса обработки детали типа фланца по линейным размерам, определили промежуточные технологические размеры и припуски с предельными отклонениями на них.

Таблица 2.1 – Номинальные значения операционных размеров и припусков

Номинальные значения операционных размеров, мм	Значения припусков, мм
$S1 = 31,69_{-0,06}$	$z2 = 1,09^{+0,06}_{-0,52}$
...	...
$S7 = 8^{+0,22}$	$z10 = 0,38^{+0,52}_{-0,29}$

Т.о. размерный анализ позволяет упростить расчеты и повысить их точность, а также получить обоснованное значение припусков с поправкой на ошибки от смещения оси, погрешности формы и оценить правильность выбора технологии обработки детали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов/ И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др.; Под общ. ред. И.П. Филонова; +CD. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с. 2. Матвеев В.В., Бойков Ф.И., Свиридов Ю.Н. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1979, 111 с. 3. Проектирование техпроцессов механической обработки в машиностроении /Под ред. В.В. Бабука. – Мн.: Вышэйшая школа, 1987. – 256 с. 4. Справочник технолога- машиностроителя, т.1./Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова - 4-ое изд., перер. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 656 с., ил.

УДК 620.16

Шумова Е.А.

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ С УЧЁТОМ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТОВ ПРИПУСКОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Перед тем как любое изделие будет направлено для изготовления на производство и дальнейшую эксплуатацию, должен быть выполнен большой объём подготовительных работ связанных, в частности, с технологической подготовкой производства. ТПП в качестве своей основы включает размерный анализ.

Размерный анализ – это совокупность расчетно-аналитических процедур, осуществляемых при разработке и анализе конструкций и технологических процессов

Проведение комплекса работ размерного анализа является совершенно необходимым, без этого само проектирование технологических процессов невозможно, поскольку сводится к укрупненному проектированию технологии на уровне типовой технологии. Даже при наличии технологии, операционных эскизов, – без простановки размеров и допусков – технологических, научно обоснованных, технология не реализуема, точно так, как конструкция без конструкторских размеров и допусков.

Основной целью данного исследования является расчёт технологических размерных цепей расположения поверхностей, а в частности нахождение допустимых радиальных биений обрабатываемых цилиндрических поверхностей детали, для чего необходимо также рассчитать погрешности формы поверхностей и ожидаемые эксцентриситеты припуска.

Данная деталь содержит несколько цилиндрических поверхностей, поэтому только значения диаметров не могут полностью описать геометрию тела вращения. Необходимо ещё

знать взаимное расположение поверхностей. Геометрически это может быть определено через эксцентриситеты. С этой целью для наиболее ответственных поверхностей (в первую очередь для конструкторских баз) на чертежах деталей задается величина радиального биения, равная удвоенному эксцентриситету.

Заданные чертежом диаметры и радиальные биения, как правило, непосредственно на заготовительных операциях не выполняются. Они образуются в процессе механической обработки за одну или несколько операций или переходов. Поэтому, при назначении диаметральных размеров и допусков на них, необходимо решить две задачи:

1. Назначить для заготовки и для механической обработки такие технологические размеры, чтобы на каждом переходе гарантировалось снятие припуска определенной величины, а на последней операции выдерживался бы диаметр, заданный рабочим чертежом детали.

2. Назначить для заготовки и механической обработки технологически оправданные радиальные биения, которые обеспечили бы выполнение требований по радиальному биению, заданные чертежом.

Сложность решения этих задач заключается в том, что нормативов на допуски на радиальное биение не существует. Их необходимо рассчитывать. Такой расчет вызывает определенные трудности, т.к. припуск по диаметру, как правило, расположен не абсолютно концентрично (равномерно). Расчёт усложняется и тем, что деталь «Водило» изготавливается не за одну, а за несколько операций, поэтому заданные радиальные биения не выполняются непосредственно с одной установки.

Маршрут обработки детали «Водило» следующий:

Операция 005 Черновое точение наружной поверхности $\varnothing 220$.

Операция 010 Получистовое точение наружной поверхности $\varnothing 220$.

Операция 015 Чистовое точение наружной поверхности $\varnothing 220$.

Операция 020 Черновая расточка отверстия под шлицы $\varnothing 78$.

Операция 025 Чистовая расточка отверстия под шлицы $\varnothing 78$.

Операция 030 Шлицевое протягивание.

Операция 035 Расточка выточки $\varnothing 101$.

Операция 040 Рассверливание отверстия $\varnothing 32$.

Операция 045 Черновая расточка отверстий $\varnothing 32$.

Операция 055 Тонкая расточка отверстий $\varnothing 32$.

Для выполнения расчётов необходимо составить размерную схему техпроцесса изготовления детали, построить граф совмещённого дерева, выявить размерные цепи эксцентриситетов и составить расчётные уравнения (рис. 1, 2).

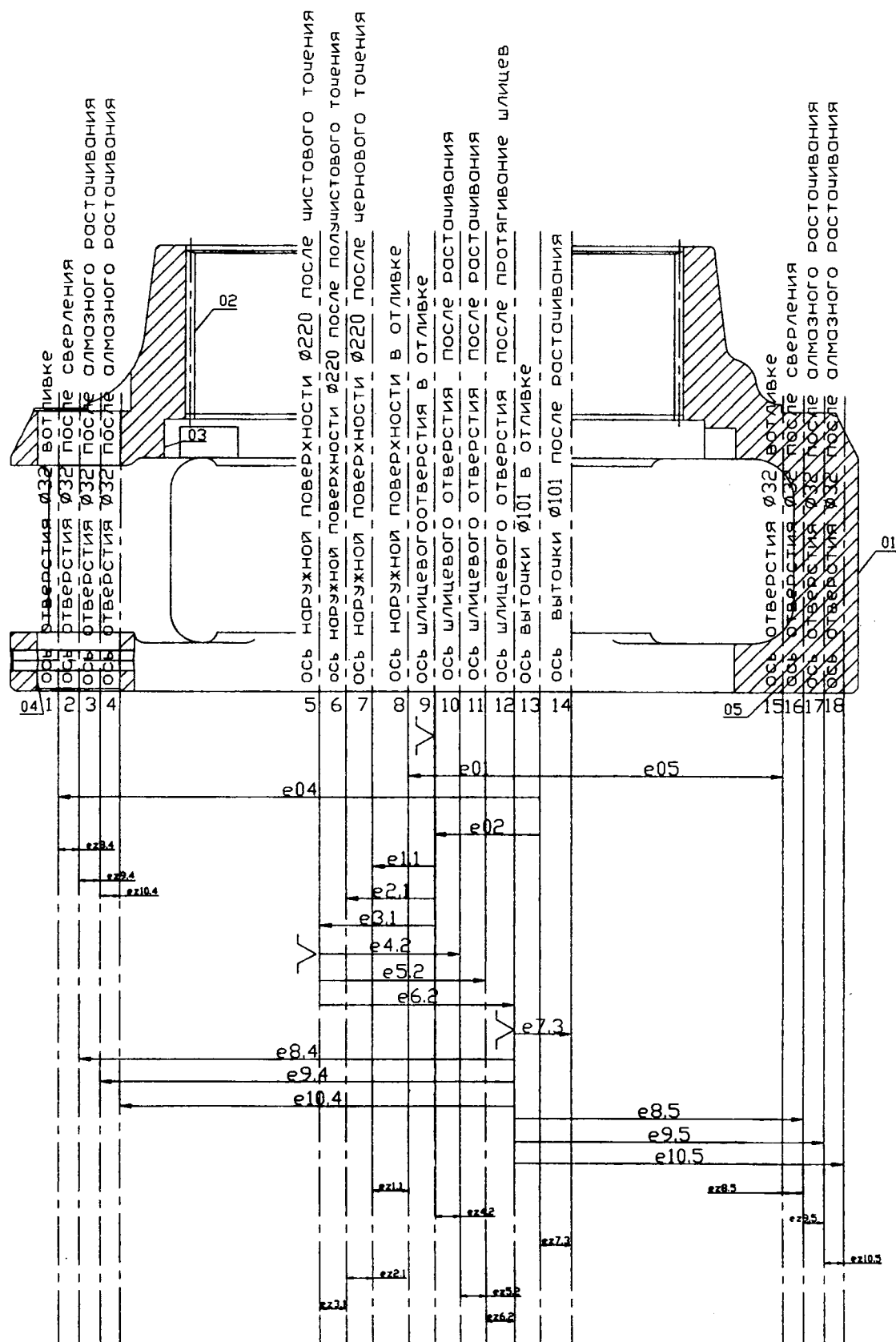


Рис. 1. Размерная схема технологического процесса

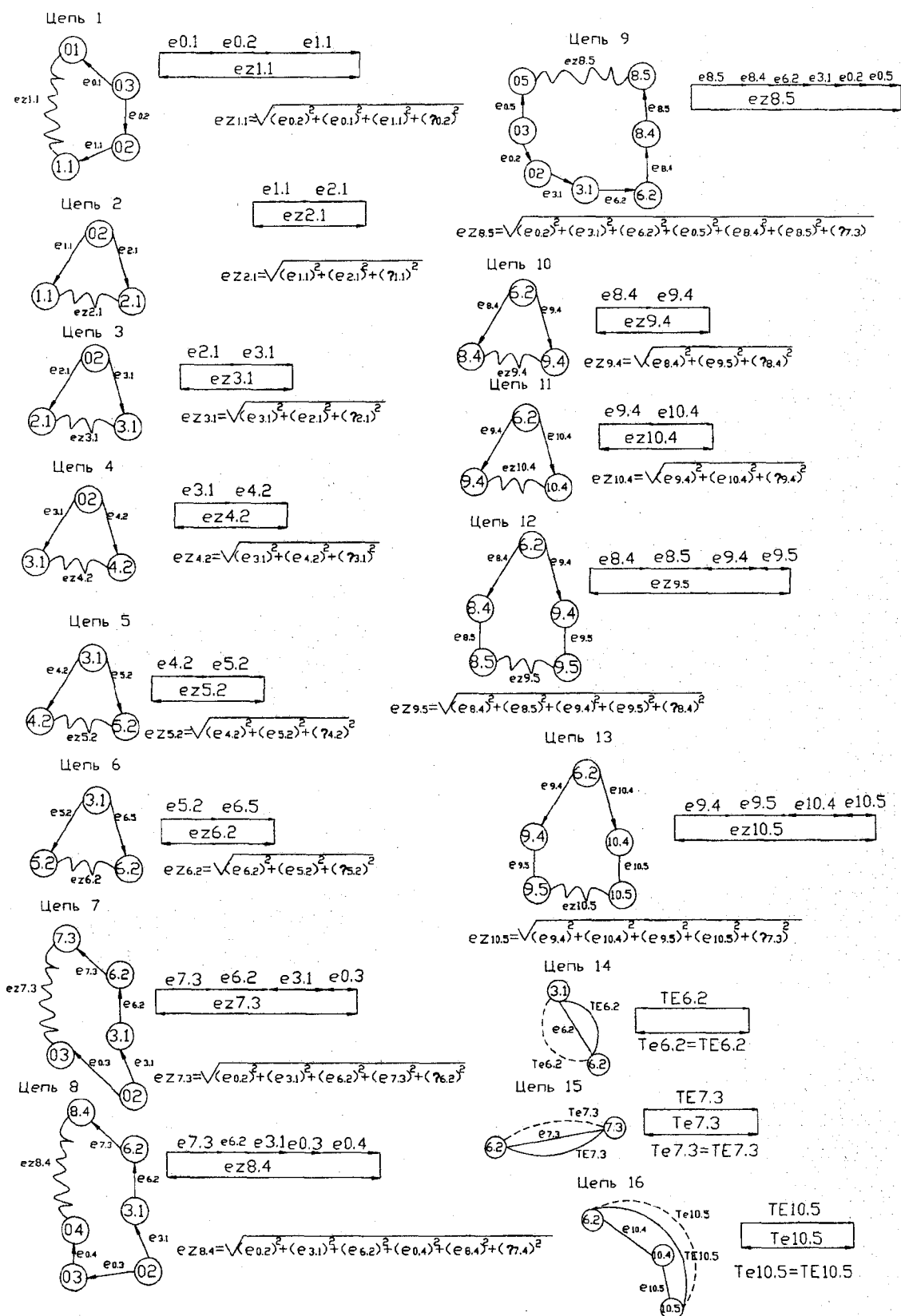


Рис. 3. Размерные цепи и расчётные уравнения

Эксцентриситеты e_i , возникающие в детали и заготовке в результате действия погрешностей системы СПИД, являются составляющими звеньями технологических размерных цепей эксцентриситетов (рис. 3). Замыкающими звеньями этих цепей являются: допустимые эксцен-

триситеты Te_i и Te_i , задаваемые в конструкторской и технологической документации, а также – эксцентриситеты припусков – eZ_i .

В размерной цепи для нахождения величины e_z (эксцентриситета припуска) составляющими звеньями являются эксцентриситеты e_i , возникающие в детали и заготовке в результате действия погрешностей системы СПИД. Надо учесть и погрешность формы обрабатываемых поверхностей ρ_ϕ , так как она приводит к увеличению неравномерности снимаемого припуска.

Таблица 2 – Расчет ожидаемой погрешности (эксцентриситета) припуска

Обозначение	Расчетные уравнения	Значение, мкм
Ez1.1	$ez_{1.1} = \sqrt{e_{0.1}^2 + e_{0.2}^2 + e_{1.1}^2 + \rho_{0.2}^2}$	305,8
Ez2.1	$ez_{2.1} = \sqrt{e_{1.1}^2 + e_{2.1}^2 + \rho_{0.1}^2}$	198
Ez3.1	$ez_{3.1} = \sqrt{e_{2.1}^2 + e_{3.1}^2 + \rho_{0.2}^2}$	197,9
Ez4.2	$ez_{4.2} = \sqrt{e_{3.1}^2 + e_{4.2}^2 + \rho_{0.3}^2}$	185,7
Ez5.2	$ez_{5.2} = \sqrt{e_{4.2}^2 + e_{5.2}^2 + \rho_{0.4}^2}$	132,2
Ez6.2	$ez_{6.2} = \sqrt{e_{5.2}^2 + e_{6.2}^2 + \rho_{0.5}^2}$	64,8
Ez7.3	$ez_{7.3} = \sqrt{e_{0.2}^2 + e_{3.1}^2 + e_{6.2}^2 + e_{7.3}^2 + \rho_{0.6}^2}$	317
Ez8.4	$ez_{8.4} = \sqrt{e_{0.4}^2 + e_{0.2}^2 + e_{3.1}^2 + e_{6.2}^2 + e_{8.4}^2 + \rho_{0.7}^2}$	367,8
Ez8.5	$ez_{8.5} = \sqrt{e_{0.5}^2 + e_{0.2}^2 + e_{3.1}^2 + e_{6.2}^2 + e_{8.4}^2 + e_{8.5}^2 + \rho_{0.7}^2}$	367,8
Ez9.4	$ez_{9.4} = \sqrt{e_{8.4}^2 + e_{9.5}^2 + \rho_{0.8}^2}$	205,2
Ez10.4	$ez_{10.4} = \sqrt{e_{9.4}^2 + e_{10.4}^2 + \rho_{0.9}^2}$	39
Ez9.5	$ez_{9.5} = \sqrt{e_{8.4}^2 + e_{8.5}^2 + e_{9.4}^2 + e_{9.5}^2 + \rho_{0.8}^2}$	290,2
Ez10.5	$ez_{10.5} = \sqrt{e_{9.4}^2 + e_{10.4}^2 + e_{9.5}^2 + e_{10.5}^2 + \rho_{0.9}^2}$	51

Расчет допустимых радиальных биений

Допустимый эксцентриситет должен быть определен по формуле:

$$Te_i \geq \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2 + \rho_{\phi i}^2 + \rho_{\phi i-1}^2}$$

$$Te_{6.2} \geq \sqrt{a_{6.2}^2 + \rho_{5.2}^2 + \rho_{4.2}^2} = \sqrt{40^2 + 0^2 + 0^2} = 40 \text{ мкм};$$

$$Te_{7.3} \geq \sqrt{a_{7.3}^2 + \rho_{6.3}^2 + \rho_{5.3}^2} = \sqrt{80^2 + 0^2 + 0^2} = 80 \text{ мкм};$$

$$Te_{10.5} \geq \sqrt{a_{10.4}^2 + a_{10.5}^2 + \rho_{9.4}^2 + \rho_{10.4}^2} = \sqrt{45^2 + 25^2 + 0.135^2} = 50 \text{ мкм}.$$

Для проверки, обеспечивают ли полученные значения Te_i заданное чертежом техническое условие Te , необходимо:

а) определить его ожидаемую (расчетную) погрешность

$$\rho_E = \sum_{i=1}^n Te_i$$

б) произвести сравнение $\rho_E \leq T_E$.

В данном случае $\rho_{E6.2} = T_{E6.2} = 40$ мкм; $\rho_{E7.3} = T_{E7.3} = 80$ мкм; $\rho_{E10.5} < T_{E10.5} = 50$ мкм.

В результате получилось, что заданное условие выполняется. Следовательно, технологию обработки детали можно считать удовлетворительной, и нет необходимости её пересматривать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектирование технологических процессов в машиностроении: Учебное пособие для вузов / И.П. Филонов, Г.Я. Беляев, Л.М. Кожуро и др.; Под общ. ред. И.П. Филонова; +CD. - Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 910 с.
2. Матвеев В.В., Бойков Ф.И., Свиридов Ю.Н. Проектирование экономичных технологических процессов в машиностроении. Челябинск: Южно-Уральское книжное изд-во, 1979, 111 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 1/Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Суслова – 5-е изд. перераб. и доп. – М.: 2001. – 912 с.
4. Технология машиностроения: Сборник задач и упражнений. Учеб. пособие / В.И. Аверченков и др.; Под общ. ред. В.И. Аверченкова и Е.А. Польского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 288 с. – (Высшее образование)

УДК 621.1: 679.8

Луговой В.П.

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДОВОДКЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Геометрическая точность формы и размеров прецизионных деталей при традиционных методах шлифования и доводки достигается изменением конструкторских или технологических факторов (скорость обработки, давление, материал и размер абразивного зерна). Каждый из этих факторов может оказывать благоприятное воздействие в определенных диапазонах и сочетаниях численных значений. Известно, что использование ультразвука при доводке позволяет улучшить показатели точности и качества поверхности в силу особенностей воздействия в зоне контакта детали и инструмента, интенсифицируя сам процесс обработки [1]. При этом особый интерес, представляет возможность управления обработкой при воздействии ультразвуком на динамику и кинематику скольжения контактирующих поверхностей. Использование ультразвуковых колебаний открывает новые возможности управления показателями точности еще одним фактором – акустическим.

Учитывая волновой характер распространения ультразвуковых колебаний в зоне контакта «деталь-инструмент» можно полагать, что ультразвук оказывает различную степень воздействия в различных точках этой зоны. В ряде случаев такой волновой характер распространения ультразвуковых колебаний в инструменте (или обрабатываемой детали) можно целенаправленно использовать с целью повышения точности геометрической формы. Основными видами геометрических форм обрабатываемых поверхностей являются плоские поверхности, тела вращения: цилиндрические и конические наружные и внутренние поверхности, а также сферические поверхности с тремя осями вращения. Особенность ультразвуковой доводки является необходимость создания резонансной ультразвуковой системы таким образом, чтобы в инстру-

менте возбуждалась стоячая ультразвуковая волна. Интенсивность обработки при этом зависит от взаимного положения деталей в зоне обработки. Так, исследованиями установлено при доводке шариков в ультразвуковом поле (рис. 1а) шарики, обработанные на различных радиусах дорожек нижнего диска имели нелинейные отличия по размеру и точности, что является результатом действия ультразвука различной интенсивности. В этом случае характер движения шариков определяется расположением изделий относительно стоячей волны, возбуждаемой в материале инструмента [2]. Различные значения действующей амплитуды колебаний над каждой из дорожек качения шариков приводят к различным величинам точности, их размеров в каждой дорожке. Эксцентричное смещение доводочных дисков относительно друг друга позволяет изменить такую закономерность и обеспечить одинаковый размер тел качения [3]. Такое явление возникает благодаря тому, что обкатываясь, шарики могут проходить различные зоны ультразвукового поля, и получать одинаковое вращение вокруг своих осей (рис. 1, б).

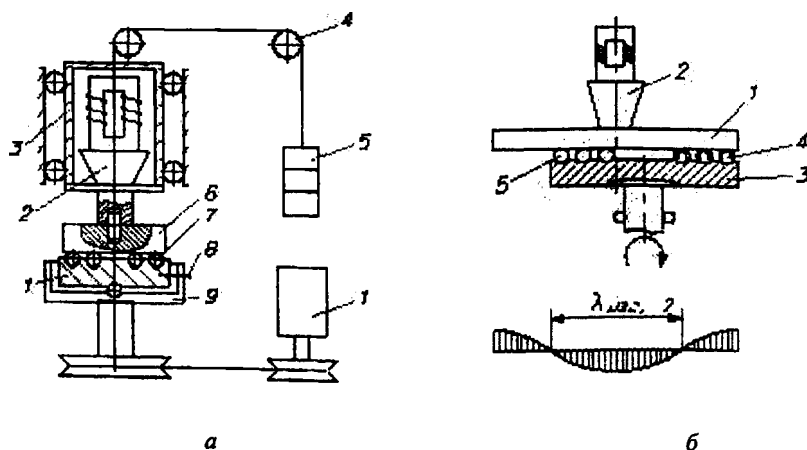


Рис. 1. Схемы обработки сферических поверхностей с ультразвуком:
а – при соосной обработке инструментами, б – при смещении дисков

Такое воздействие ультразвуковых колебаний инструмента приводит к изменению кинематики вращения шариков, при котором достигается изменение направления вращения шариков вокруг своих осей при пересечении различных зон акустической волны.

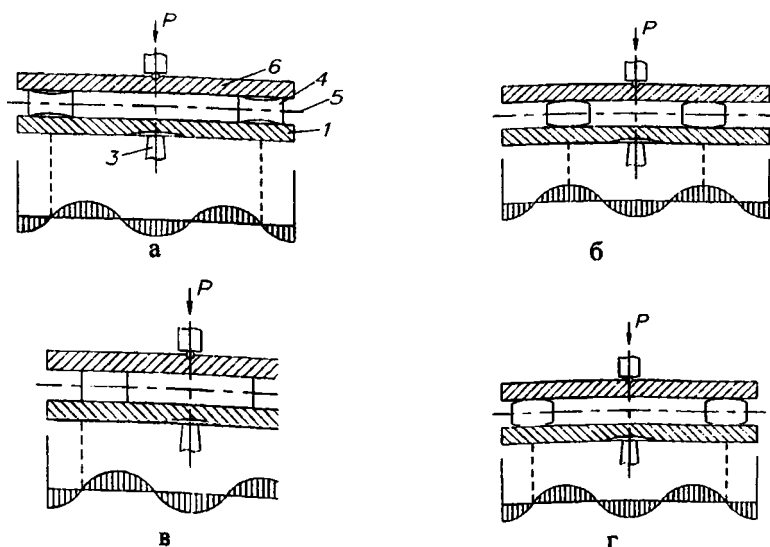


Рис. 2. Схема обработки цилиндрических тел вращения с погрешностью формы деталей:
а – седлообразных, б – бочкообразных, в – с конусностью

Аналогичную закономерность влияния ультразвуковых колебаний на показатели процесса обработки цилиндрических деталей можно наблюдать при обработке цилиндрических

деталей при однодисковой и двухдисковой доводке. Возможность управляющего действия ультразвуковых колебаний при обработке деталей цилиндрической открывається при целенаправленном воздействии на изделия путем их расположения относительно изгибной волны ультразвуковых колебаний инструмента. Один из инструментов соединен с источником колебаний 3 (рис. 2) и возбуждает в нем акустическую изгибную волну, эпюра распределения которой имеет вид стоячей волны. Изделия 4, уложенные в сепаратор 5, прижимаются диском 6 с усилием Р. Такой способ позволяет устранить возникающие на изделиях отклонения формы изделий в продольном направлении: седлообразность, конусность, бочкообразность, или решить обратную задачу, т.е. образовать бочковидную форму.

Особенность распространения изгибной волны заключается в том, что она имеет общие признаки как продольной, так и поперечной волн. Поэтому точки рабочей поверхности диска-притира совершают колебательное смещение в вертикальном направлении с амплитудой A_v и в радиальном с амплитудой A_p (рис.1). При этом изменение амплитуды вертикально направленных колебаний по радиусу диска носит четко выраженный циклический характер, т.е. имеет место чередование пучностей и узлов в соответствии с формой ультразвуковой волны. В то же время амплитуда радиально направленных колебаний плавно возрастает от нулевого значения в центре диска до максимального на периферии инструмента. Таким образом, при обработке с ультразвуком интенсивность акустического поля по радиусу инструмента оказывается переменной, что предопределяет различную степень влияния колебаний на показатели процесса доводки с изменением места расположения заготовки относительно оси вращения диска-притира.

Ультразвуковой способ доводки позволяет повысить точность отверстий в осевом направлении оптимальным расположением обрабатываемых изделий относительно изгибной волны ультразвуковых колебаний инструмента. Детали с седлообразностью (рис.2а) ориентируются относительно ультразвуковой волны так, чтобы их середина совпадала с узлом данной волны, т.е. в сечении с минимальной амплитудой колебаний. При доводке бочкообразных деталей (рис.2б) их середина располагается против пучности волны. Образование же бочкообразности требует их смещения в зону узла колебаний упругой волны (рис.2г).

Доводка отверстий осуществляется инструментом 1 (рис.3), в котором возбуждается продольная звуковая волна 4 от источника колебаний 2. В продольном направлении отверстия могут образовываться такие формы погрешности как седлообразность, бочкообразность и конусность.

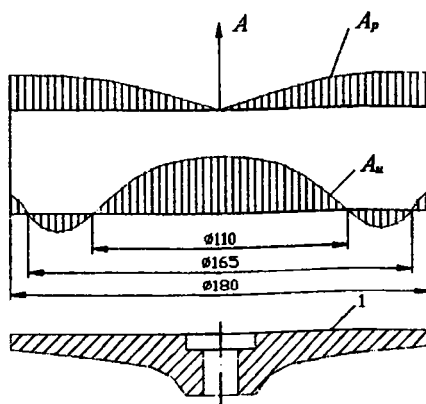


Рис. 3. Конструкция доводочного диска для ультразвуковой доводки

Устранение указанных погрешностей форм отверстий и в данном случае становится возможным при соблюдении соответствующего взаимного положения детали и инструмента [5]. Седлообразные изделия 3 (рис.3а) предварительно отобранные для обработки располагаются в пучности колебаний с максимальной амплитудой колебаний в среднем сечении, а бочкообразные (рис.3б) – в узле, что, в конечном счете, обеспечивает выравнивание погрешности формы.

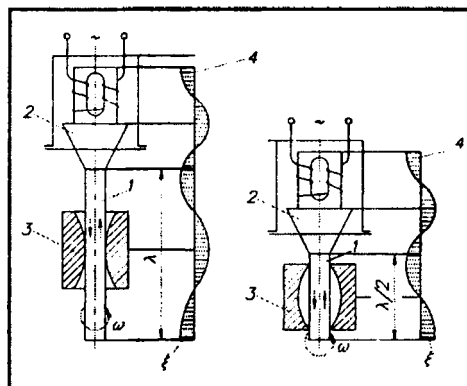


Рис. 4. Способ доводки отверстий с ультразвуком

Во всех приведенных схемах обработки используется волновой характер распространения упругой волны, как акустический параметр, влияющий на показатели обработки, и свидетельствующий о возможности управления процессом ультразвуковой обработки для повышения точности геометрической формы обработанных поверхностей за счет оптимального выбора относительного расположения контактируемых поверхностей. Процесс абразивной обработки сопровождается одновременным улучшением качества обработанной поверхности, обусловленной высокочастотным воздействием инструмента через абразивную прослойку в зоне контакта [1,2]. При этом показатели производительности, т.е. съема материала в единицу времени, определяются совместным действием как технологических, так и акустических (частотой и амплитудой ультразвуковых колебаний) факторов.

Для проведения исследований процессов абразивной обработки цилиндрических тел и шариков был разработан настольный станок с вертикальной осью вращения. В шпинделе станка был встроен пьезокерамический преобразователь ультразвуковых колебаний с коническим волноводом, на котором закрепляется шлифовальный круг с алмазонасным слоем, диаметром 250мм. На инструменте возбуждалась резонансная изгибная волна частотой 18 кГц. Верхний диск выполнен в поперечном сечении по нерабочей стороне в форме гиперболы. Он закрепляется на стойке и имеет возможность эксцентричного смещения в горизонтальной плоскости. Предварительные исследования подтвердили изложенные выше заключения:

ЛИТЕРАТУРА

1. М.Г. Киселев, В.Т. Минченя, В.А.Ибрагимов. Ультразвук в поверхностной обработке материалов.- Мн.: Тесей, 2001г. -360с.
2. Луговой В.П. Автореферат кандидатской диссертации. Мн. 1981.
3. А.с. 664824 СССР. Устройство для доводки шариков. / М.Г.Киселев, М.Ю.Пикус, В.П.Луговой. Б.Д.Дисон// Бюл. изобр. - 1979. - № 20.
4. А.с.1794630 СССР. Способ доводки тел вращения. / В.П.Луговой// Бюл. изобр. - 1993. - № 6.
5. А.с.1189577. Способ доводки отверстий. В.П.Луговой // Бюл. изобр. - 1985. - № 41.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Заводской опыт и результаты исследований показали, что ресурс подшипников может быть значительно увеличен, чем показывают расчеты по существующим методикам определения долговечности подшипника. Важным фактором при этом является то, что поверхности качения колец и тел качения при эксплуатации подшипников разделяются смазочным материалом, а в зону контакта не попадают инородные частицы, например, абразивные.

Во всех отраслях промышленности на Западе придается большое значение развитию бенчмаркинга. Бенчмаркинг – это искусство выявить то, что другие делают лучше, в целях повышения эффективности научных исследований, а в конечном результате эффективности производства и его конкурентно способности.

В последнее время SKF (Швеция) для расчета долговечности подшипников использует новую теорию, которая базируется на понятии предела усталостной прочности $R_{u'}$ [1]. Предел усталостной прочности – это предельная нагрузка, при которой не происходит усталостное разрушение поверхностей контакта, работающих в идеальных условиях. Новая теория является продолжением работ Лундберга и Палгрема, которые позволяют прогнозировать долговечность подшипников в зависимости от упомянутых выше факторов, а именно наличие пленки смазочного материала между контактирующими поверхностями и отсутствие в зоне контакта инородных тел.

Важными факторами, влияющими на эксплуатационные свойства поверхности, являются технологические факторы, например, форма неровностей, полученная от определенных методов механической обработки поверхностей. Типы неровностей поверхности выбираются из таблицы 1 ГОСТ 2787-73, а условное обозначение направлений неровностей из ГОСТ 3.309-73.

На условие трения и смазки, наличия масляной пленки между контактирующими поверхностями в значительной степени влияет направление и форма неровностей.

Первые работы по исследованию влияния направлений неровностей на условия смазки и трения в подшипниках скольжения были проведены Митчелом [2]. В частности он показал в 1950, что определенное соотношение амплитуды шероховатости к толщине зазора между трущимися поверхностями дает наибольшую несущую способность и наименьшее значение силы трения.

Бартон в 1963 году исследовал влияние поперечной шероховатости на двух параллельных пластинах, движущихся одна относительно другой [3]. При проведении опытов предполагалось, что смазка является максвелловской жидкостью с вязкостью, зависящей как от давления, так и от температуры. Бартону удалось получить свидетельство того, что для жидкости, вязкость которой возрастает с увеличением давления, найдется результирующая подъемная сила при относительном скольжении параллельных поверхностей подшипника и, если вязкость жидкости падает с ростом температуры, имеется тенденция к уменьшению указанной подъемной силы.

Чаще всего известные способы шлифования обеспечивают получение одномерных криволинейной (рис. 1, а) и прямолинейной (рис. 1, б) шероховатостей. Трущиеся поверхности с такой шероховатостью обеспечивают эффект двухмерной шероховатости.

После перекрестного шлифования на поверхности торца ролика и наружного кольца роликовых радиальных сферических подшипников имеет место двухмерная криволинейная шероховатость (рис. 1, в). В отдельных случаях можно получить двухмерную прямолинейную шероховатость (рис. 1, г). При контакте этих поверхностей получается эффект «четырёхмерной» шероховатости.

Для примера рассмотрим образование регулярного микрорельефа на сферических торцах ролика при групповом способе шлифования торцом чашечного круга.

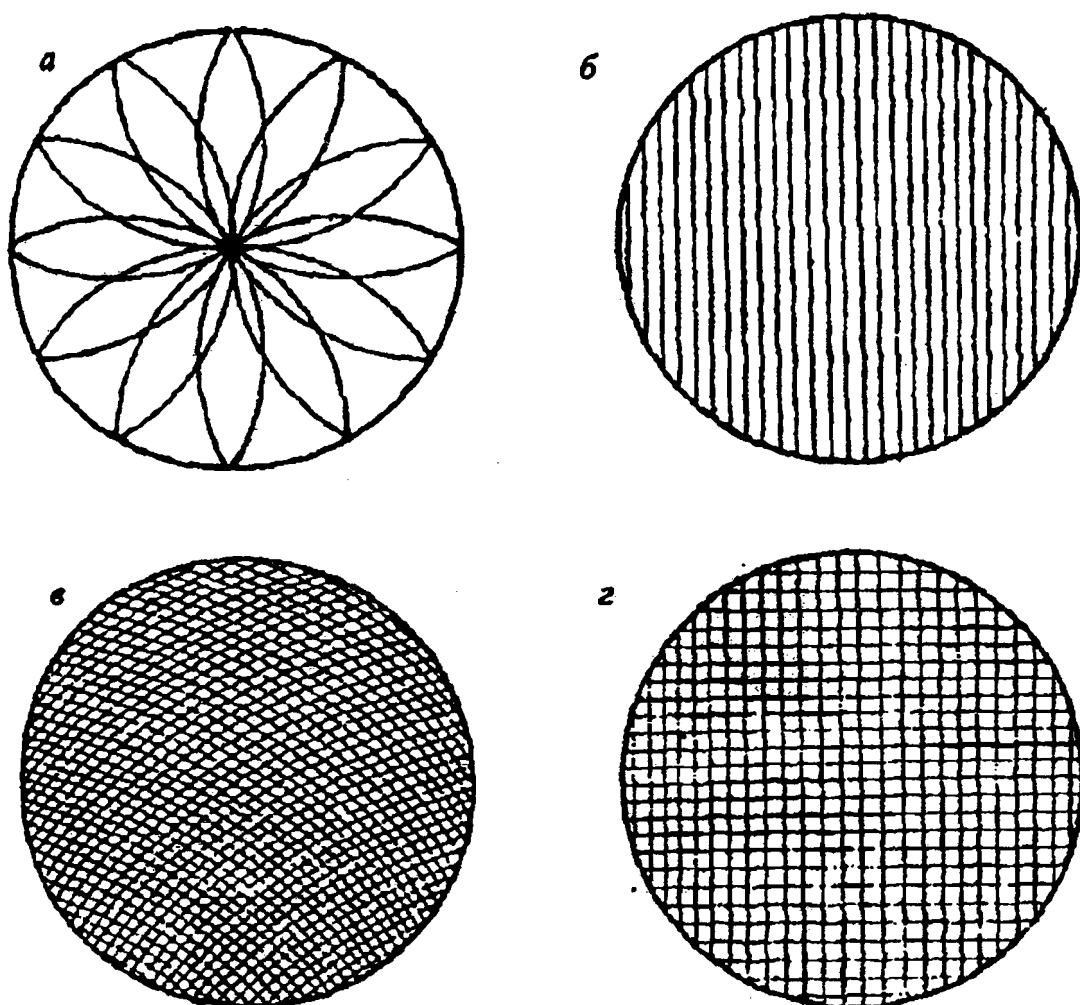


Рис. 1. Направление неровностей шлифованной поверхности ролика в зависимости от способа обработки:
 а, б — одномерные криволинейные и прямолинейные;
 в, г — двумерные криволинейные и прямолинейные.

Анализ методов шлифования сферических торцов поверхностей тел качения [4] и практика изготовления их на МПЗ показывают, что требуемая точность обработки и качество поверхностного слоя обеспечивается шлифованием их групповым способом торцом чашечного круга (рис. 2). В данном случае торцовая сферическая поверхность обрабатываемых роликов формируется в результате вращательного движения сепаратора с роликами или сферического электромагнитного стола относительно шлифовального круга, который заправлен по сфере. Плоскость вращения сепаратора совпадает с плоскостью симметрии шлифовального круга. Производительность процесса обработки по данной схеме определяется количеством одновременно обрабатываемых деталей и скоростью съема припуска, зависящей от частот вращения сепаратора и шлифовального круга, а также режущей способности последнего. Качество обработанной поверхности характеризуется не только шероховатостью, но и направленностью следов абразивного инструмента, которая зависит от соотношения частот вращения сепаратора ω_c и шлифовального круга ω_k . Таким образом, производительность процесса обработки и качество находятся в зависимости от кинематических и геометрических параметров, таких, как диаметр шлифовального круга D , радиус сферы обрабатываемых торцов роликов R_c , диаметр обрабатываемого торца d .

Количество обрабатываемых деталей в зоне резания

$$N_p = \frac{R_c \psi}{S_p} = \frac{2R_c \arcsin \frac{D}{2R_c}}{d + a},$$

где S_p – расстояние между центрами двух соседних роликов, измеренное по окружности радиуса R_c ; a – расстояние между роликами.

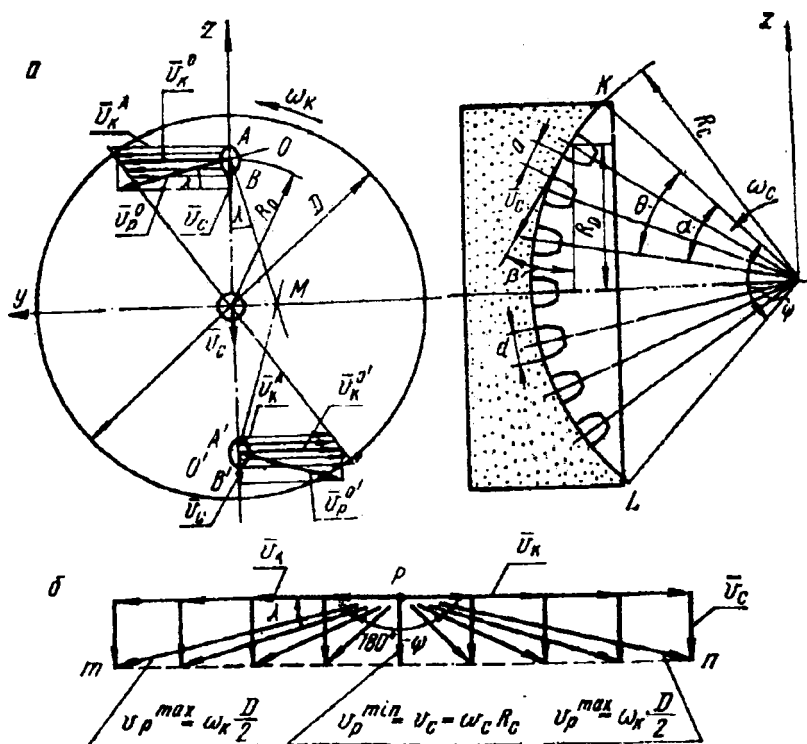


Рис. 2. К определению кинематических характеристик процесса группового шлифования сферических торцовых поверхностей тел качения роликовых подшипников:

а – схема процесса шлифования торцом чашечного круга;

б – годограф скорости резания.

Общее количество роликов, размещенное в сепараторе, определяется из формулы

$$N = \frac{2\pi R_c}{d + a}$$

Как видно из рис. 2, скорость резания изменяется как по значению, так и по направлению, и определяется векторной суммой линейных скоростей сепаратора V_c и круга V_k . Таким образом,

$$\begin{aligned} \vec{V}_p &= \vec{V}_c + \vec{V}_k; \\ V_c &= \omega_c \cdot R_c = \text{const}; \\ V_k &= \omega_k \cdot R_0 \end{aligned}$$

где R_0 — расстояние от оси вращения круга до центра торца ролика.

Как видно из годографа вектора скорости резания (рис. 1, б), скорость сепаратора остается постоянной, скорость же круга меняется от $V_k^{max} = \omega_k D/2 = \omega_k \cdot R_c \cdot \sin \psi/2$ до $V_k^{min} = V_c = \omega_c R_c$.

Суммарная скорость резания

$$V_p = \sqrt{(\omega_c R_c)^2 + (\omega_k R_\bullet)^2}.$$

Направление вектора \vec{V}_p определится углом λ :

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{V_c}{V_k} = \frac{\omega_c R_c}{\omega_k R_\bullet}; \quad (1)$$

$$\cos \lambda = \frac{\omega_k R_\bullet}{\sqrt{(\omega_c R_c)^2 + (\omega_k R_\bullet)^2}} \quad (2)$$

Значение R_\bullet определится с учетом следующих соображений. Угол $\beta = \psi/2$ – а за время прохождения роликом рабочей зоны изменяется от $\beta_A = \psi/2$ до 0 и от 0 до $-\psi/2$. Тогда

$$R_\bullet = \omega_c R_c t \cdot \cos \left(\frac{\psi}{2} - \omega_c t \right). \quad (3)$$

Для способа групповой обработки характерна переменная скорость резания. Это связано с изменением расстояния обрабатываемого ролика относительно оси шлифовального круга. Следует отметить, что такой способ обработки не обеспечивает равномерного абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность. Это объясняется тем, что линейная скорость шлифовального круга и ее направление определяются положением обрабатываемой поверхности относительно рабочей поверхности круга. В период прохождения ролика через центральную зону условия съема припуска резко изменяются в связи с уменьшением линейной скорости круга. Поэтому на практике используют шлифовальные круги с центральным отверстием.

Равномерное абразивное воздействие на обрабатываемую поверхность и постоянное направление скоростей резания абразивных зерен способствуют формированию качественного поверхностного слоя с регулярным (упорядоченным) микрорельефом. Это существенно улучшает эксплуатационные свойства рабочих поверхностей. Образование регулярного микрорельефа важно для сохранения постоянства момента сопротивления, возникающего в зонах контакта сферического торца с бортиком кольца.

Момент сопротивления вращению при восприятии осевой нагрузки сферическими торцами роликов зависит от размеров фактических площадок контакта и распределения по ним сил трения. Последние в свою очередь зависят от наличия смазки между контактирующими поверхностями. На поверхности с регулярным микрорельефом лучше удерживается смазка, что способствует повышению долговечности роликовых подшипников.

Как видно из рис. 3, в, в результате разнонаправленного резания на обработанной поверхности образуется характерная сетка. Кривизна траектории абразивного зерна на обрабатываемой поверхности ролика зависит как от расстояния зерна от центра круга, так и от соотношения частот вращения шлифовального круга и сепаратора. Другими словами, изменение направления скоростей резания при входе ролика в рабочую зону (рис. 3, а) и выходе из нее (рис. 3, б) способствует нанесению сетки, и в результате прерывистого резания повышается режущая способность шлифовального круга. Направление и кривизна отдельных рисков (рис. 3, в) изменяются по определенной закономерности.

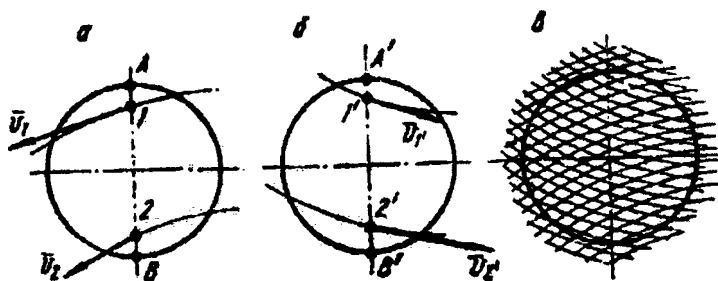


Рис. 3. Схема нанесения следов режущего инструмента на обрабатываемую поверхность: а, б – формирование обрабатываемой поверхности на входе рабочей зоны и выходе из нее; в – сетка следов инструмента на сферической торцовой поверхности после обработки.

Высотные параметры микрорельефа и шаг микровыступов зависят от направления измерения. Это явление оказывает влияние на работу ролика в подшипнике; оно приводит к периодическому изменению сил сопротивления вращению в зонах контакта ролика с бортиком кольца. При этом нарушается устойчивое вращение роликов в подшипнике, и увеличивается износ. Чем ближе угол пересечения шлифовальных рисок на поверхности приближается к 90° , тем поверхность однороднее по параметрам макро- и микрогеометрии, а следовательно, меньше ее износ.

Основные параметры сетки можно описать аналитически. Радиус кривизны траектории абразивного зерна, который проходит через центр ролика, находящегося на расстоянии R_0 от оси круга (см. рис.2, а), определяется из выражения:

$$\rho = OM \frac{R_0}{\cos \lambda} \quad (4)$$

Подставляя в уравнение (4) выражения соответствующих параметров из формул (2) и (3), получим

$$\rho = \frac{\omega_c R_c t \cdot \sqrt{(\omega_c R_c)^2 + (\omega_k R_0)^2} \cdot \cos\left(\frac{\psi}{2} - \omega_c t\right)}{\omega_k R_0} \quad (5)$$

С учетом выражения (1) формулу (5) можно представить в виде

$$\rho = \sqrt{(\omega_c R_c)^2 + (\omega_k R_0)^2} \cdot t \cdot \operatorname{tg} \lambda \cdot \cos\left(\frac{\psi}{2} - \omega_c t\right).$$

Как видно из рис. 2, б, угол λ изменяется по мере перемещения обрабатываемого ролика к центру круга:

$$\text{от } \lambda_{\min} = \operatorname{arctg} \frac{2\omega_c R_c}{\omega_k D} \text{ до } \lambda_{\max} = \frac{\lambda}{4}.$$

Таким образом, значение ρ и угол наклона его к оси z определяют положение точки М (см. рис.2, а), которая при совпадении плоскости вращения сепаратора с диаметральной плоскостью шлифовального круга лежит на оси y . Эта точка является центром кривизны нанесенных рисок, проходящих через центр торца при входе и выходе обрабатываемого ролика из рабочей зоны. Следует отметить, что точка М является центром группирования положений центров мгновенных радиусов кривизны, проходящих ниже и выше центра обрабатываемого ролика.

Производительность процесса определяется частотой вращения сепаратора и зависит от радиуса обрабатываемой сферы, количества одновременно обрабатываемых деталей и режущей способности шлифовального круга.

Время прохождения одним роликом рабочей зоны

$$T_1 = \frac{\psi}{\omega_c} = \frac{2 \arcsin D}{\omega_c}.$$

Тогда производительность процесса шлифования (шт./мин)

$$\Pi = \frac{n_c i (d+a)}{2 \pi R_c \arcsin D} \quad (6)$$

где n_c – частота вращения сепаратора, мин^{-1} , i — количество проходов (количество оборотов сепаратора), необходимое для съема припуска. В формулу (6) не входит время на правку круга и подналадку станка. Оно может быть учтено введением соответствующего поправочного коэффициента.

В конкретных производственных условиях устанавливаются оптимальные геометрические и кинематические параметры, обеспечивающие наибольшую производительность. Лучшие результаты достигнуты при шлифовании торцов бочкообразных роликов с радиусом сферы 70...200 мм, диаметром обрабатываемого торца 12...50 мм, расстоянии между обрабатываемыми роликами в сепараторе $a=3...10$ мм. При этом используется шлифовальный круг на бакелитовой связке диаметром 75...200 мм и диаметром центрального отверстия 55...170 мм. Частота вращения обрабатываемых деталей выбирается в пределах 2...30 мин^{-1} . Скорость шлифовального круга на его периферии 17...34 м/с. При этом погрешность радиуса обрабатываемой сферы по стреле прогиба находится в пределах 2...3 мкм, шероховатость соответствует $R_a = 0,32...0,08$ мкм.

В дальнейшем ставится задача обосновать образование регулярного микрорельефа на сферической дорожке качения наружных колец роликовых радиальных сферических подшипников, а также на образующей поверхности бочкообразных роликов, применив операции перекрестного шлифования и суперфинишерования, что в конечном итоге даст возможность повысить ресурс подшипников качения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Общий каталог. 600 RU, SKF, 2006. – 1129 с. 2. Michell A. G. M. Lubrication: Principles and Practice – London and Glasgow Blackie and Son, 1950. 3. Бартон. Влияние двухмерной синусоидальной шероховатости на характеристики несущей способности слоя смазки // Техническая механика, 1963, №2 с. 154-155. 4. Кривко Г. П. Основы совершенствования способов и технологических процессов механической обработки деталей подшипников. – Мн.: УП «Технопринт», 2001. – 220 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ОБРАБАТЫВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ ВЫСОКОПЛАСТИЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Высокие требования, предъявляемые к точности размеров и геометрической формы деталей машиностроения, интенсификация режимов резания при токарной обработке, а также широкое применение высокопластичных сталей и сплавов выдвинули на первый план вопросы обработки металлов резанием, связанные с вибрациями. Так как вибрации оказывают влияние на основные показатели процесса резания: производительность обработки, стойкость режущего инструмента, качество обработанной поверхности, и, как правило, при их возникновении все перечисленные параметры ухудшаются. При этом можно выделить два направления, по которым идут исследования в этой области. Первое направление связано с применением средств, обеспечивающих высокую жесткость технологической системы станка, устойчивость движения резания и гашения вредных вибраций. Второе направление связано с освоением и внедрением методов и устройств вибрационного резания, которые основаны на использовании положительных свойств вибраций.

Одним из наиболее эффективных и перспективных способов дробления сливной стружки является вибрационное точение, при котором на обычно принятую для данной операции кинематическую схему накладывается дополнительное направленное вибрационное движение инструмента относительно заготовки, источником которого может быть как специальный вибропривод, так и автоколебания, возникающие непосредственно в процессе резания [1-3]. При технологическом обеспечении для конкретных условий обработки необходимого направления введения колебаний в зону резания и установление их оптимальной интенсивности использование вибрационного точения гарантирует стабильное дозированное стружкодробление, повышение производительности и улучшение условий труда, создаёт благоприятные возможности для автоматизации производства, а также возможность управления параметрами точности и качества обработанной поверхности.

Точность механической обработки при вибрационном точении определяется следующими группами факторов [1,2]. К первой группе относятся факторы, которые в одинаковой мере определяют её вне зависимости от того, осуществляется процесс резания с вибрациями или без них (погрешности, связанные с действием остаточных напряжений в материале заготовок и готовых деталей, а также неточности изготовления и установки инструмента, погрешности, связанные с установкой заготовки на станке и её деформациями при закреплении).

Ко второй группе относятся факторы, величина и характер изменения которых изменяются при резании с вибрациями, однако механизм воздействия их на точность обработки остаётся прежним. Сюда можно отнести погрешности обработки, вызываемые размерным износом инструмента, температурными и упругими деформациями упругой системы станка, а также погрешности, обусловленные геометрическими неточностями станка, приспособления и неточностями их настройки.

К третьей группе относятся специфические факторы, влияющие на точность обработки только при резании с вибрациями:

- погрешности, связанные с включением в динамическую систему станка нового элемента – возбудителя вибраций, а именно точность его изготовления и установки на станке, изменение упругих и динамических свойств системы, связанное с его установкой, точность задания направления и режимов вибраций;

- кинематические особенности резания с вибрациями, определяемые прежде всего соотношениями частоты задаваемых вибраций к числу оборотов заготовки f/n и соотношением амплитуды колебаний и подачи на оборот A/S_0 .

- специфические физические явления, связанные с вибрациями, и определяющие возникновение погрешностей (повышенная подвижность узлов станка под действием вибраций, приводящая к саморасклиниванию; демпфирование автоколебаний; периодичность явления наростообразования под действием вынужденных колебаний).

Обработка резанием существенно изменяет эксплуатационные свойства деталей за счет формирования определенного качества поверхностного слоя: волнистости, шероховатости, наклепа и остаточных напряжений [3]. Особенно это проявляется в процессе резания высокопластичных материалов при наличии вибраций технологической системы. Следовательно, обработка резанием должна рассматриваться не только как способ получения деталей определенной формы и размеров, но как эффективный способ управления эксплуатационными качествами деталей.

При обычном точении на черновых операциях шероховатость поверхности в первом приближении образуется как геометрический след рабочего движения резца относительно заготовки и определяется подачей и радиусом скругления режущей кромки. При чистовой обработке на шероховатость обработанной детали значительное влияние оказывают относительные колебания инструмента и заготовки в направлении, перпендикулярном к обработанной поверхности. При вибрационном точении, кроме этих факторов, большое значение имеет также кинематика движения, так как сложная траектория движения вершины инструмента разворачивается на обработанной поверхности в виде шероховатостей различной высоты и направления. Поэтому наличие вибраций может приводить как к катастрофическому ухудшению макро- и микрогеометрии поверхности, так и сохранять ее почти неизменной или даже улучшать ее.

Важным показателем качества обработанной поверхности является наклеп, оказывающий значительное влияние на эксплуатационные характеристики деталей. Картина получения наклепанного слоя при резании с вибрациями аналогична формированию шероховатостей [2]. По мере резания образуется переменная глубина наклепа, пропорциональная толщине срезаемого слоя. Однако при последующих проходах, так как распространение наклепанной зоны вглубь обрабатываемого материала значительно и имеется сдвиг фаз, зоны более глубокого распространения наклепа перекрывают одна другую. Поэтому значительной неравномерности распределения наклепа по длине и глубине обработанной поверхности ожидать не следует; при этом за счет некоторого циклического воздействия следует ожидать некоторого увеличения глубины.

Вибрационное движение высокой частоты изменяет напряженное состояние в зоне резания. Знак остаточных напряжений, образующихся в поверхностном слое обработанной резанием детали, определяется знаком напряженного состояния этой поверхности в процессе резания. Процесс пластической деформации срезаемого слоя определяется деформациями сдвига и сжатия; вследствие этого при резании инструментами с положительными передними углами происходит интенсивное растяжение материала, формирующего поверхностный слой, образование зоны растягивающих напряжений [2,3].

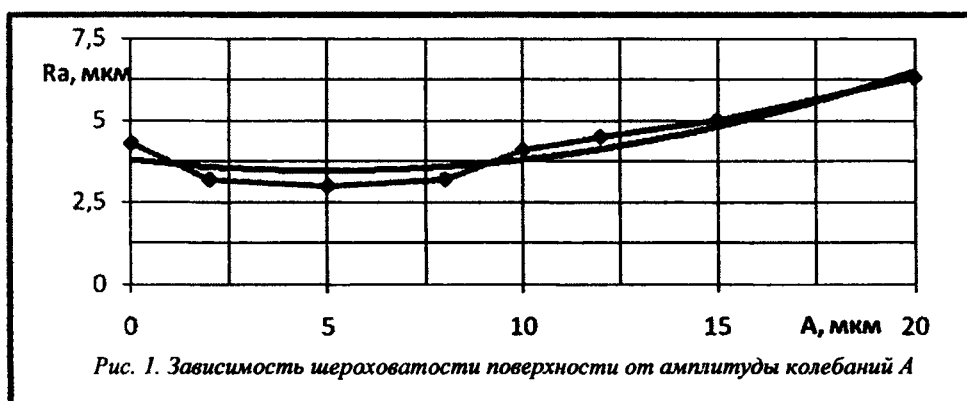
На этот процесс накладывается явление накатки – уплотнение материала самого верхнего слоя, которое происходит при обычном резании только под действием определенного радиуса скругления режущей кромки и контакта задней поверхности инструмента. Оно вызывает образование зоны сжимающих напряжений. Соотношение между размерами этих зон и действующими в них остаточными внутренними напряжениями определяется схемой обработки, режимами ее выполнения, а циклический характер взаимодействия обработанной поверхности с задней поверхностью инструмента при резании с вибрациями значительно повышает интенсивность этого явления прямо пропорционально частоте и амплитуде вибраций.

На кафедре «Технология машиностроения» Белорусского национального технического университета проводятся исследования по проектированию и разработке конструкций токарных инструментов вибрационного резания обладающих повышенной стойкостью, простых по конструкции и надежных в эксплуатации. В основу разработки положено использование акустических колебаний высокой частоты для повышения точности обработки и улучшения каче-

ства обработанной поверхности, а для управления формой и размерами образующейся стружки – ввод в зону резания направленных колебаний.

Испытания разработанных инструментов вибрационного точения проводились при обработке деталей из сталей марок 30, 40Х, 12Х18Н9Т на токарно-винторезном станке модели 16К20. В качестве инструмента использовались токарные резцы с материалом режущей части Т15К6, и следующими геометрическими параметрами: задний угол $\alpha=5^\circ$; передний угол $\gamma=-5^\circ$; главный угол в плане $\varphi=90^\circ$; радиус закругления режущей кромки $r=0,8$ мм. Обрабатывались заготовки диаметром 30-80 мм; длиной 400 - 600 мм, закрепленные в центрах при режимах резания: $t=0,5-2,5$ мм; $V=60-120$ м/мин; $S=0,05-0,35$ мм/об. В тех случаях, когда при обработке деталей обычными инструментами на принятых для данной технологической операции режимах резания возникала сливная стружка, и добиться ее дробления наиболее распространенными методами не удавалось, в резцедержатель станка устанавливались разработанные конструкции инструментов для вибрационного резания.

При этом контролировались диаметр и некруглость обработанных заготовок. Полученные данные сравнивались с точностью обработки, полученной на том же станке и при тех же режимах обработки, но без возбуждения направленных колебаний. В результате проведенных экспериментов установлено, что при продольном наружном точении с введением в зону резания направленных колебаний точность обработки повышается (изменение ожидаемого настроечного размера обрабатываемой поверхности уменьшается по диаметру с 0,06 – 0,08 мм при обычном резании до 0,03-0,05 мм); некруглость снижается на 0,004-0,006 мм, причем зависимость некруглости от амплитуды задаваемых колебаний имеет нелинейный характер.



Высоту микронеровностей поверхности определяли при обработке заготовок из стали 12Х18Н9Т с постоянной глубиной резания $t=1,0$ мм, подачей $S=0,15$ мм/об. С помощью профилографа-профилометра определяли параметр R_a . Как видно из графика (рис.1), повышение амплитуды колебаний вызывает ухудшение параметров шероховатости. Однако, при возбуждении направленных колебаний с амплитудами $A=2-10$ мкм шероховатость поверхности несколько уменьшается по сравнению с обычным резанием. Установлено также, что если скорость резания превышает некоторое значение, то при дальнейшем ее увеличении шероховатость поверхности значительно ухудшается.

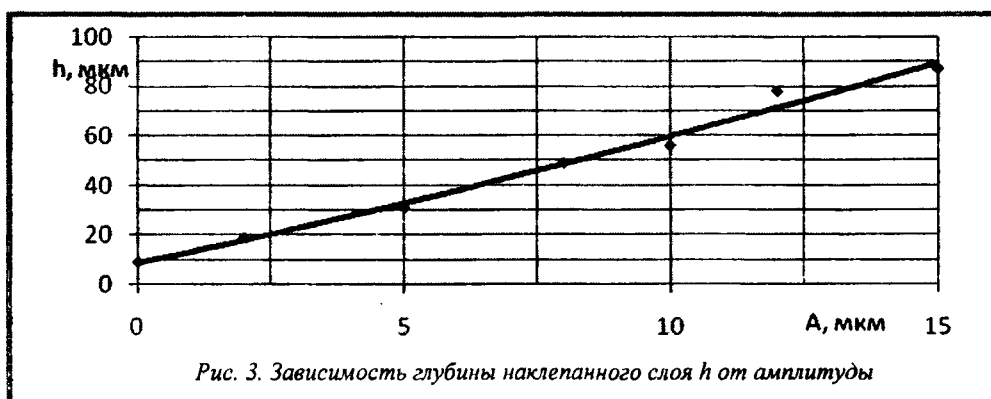


Исследование глубины и степени наклепа поверхностного слоя в зависимости от амплитуды направленных колебаний проводились при точении заготовок из стали 12Х18Н9Т. Режимы резания: $S=0,08$ мм/об; $V=60-80$ м/мин; $t=1$ мм. Определение глубины наклепа проводили по методу косых срезов (угол среза $\alpha_k=1^\circ30'$). Микротвердость измеряли с помощью прибора ПМТ-3 при увеличении $500\times$ с нагрузкой 1Н. Степень наклепа рассчитывали по формуле:

$$N = \frac{HM' - HM}{HM} 100,$$

где HM' , HM – соответственно микротвердости обработанного слоя и исходного материала соответственно.

Циклическое взаимодействие обработанной поверхности с задней поверхностью инструмента возрастает прямо пропорционально квадрату амплитуды и частоты колебаний [3]. Вводимые в зону резания колебания с частотой $f=18-22$ кГц и амплитудой $A \leq 20$ мкм приводят к увеличению степени наклепа до 30% (рис.2) и глубины наклепа (рис.3).



Таким образом, циклический характер взаимодействия задней поверхности инструмента с поверхностью резания при вибрациях, существенно повышая упрочнение поверхностного слоя, одновременно приводит к росту остаточных напряжений сжатия, которые увеличиваются с повышением амплитуды и частоты. Образование в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений значительно увеличивают ресурс деталей, работающих при знакопеременных нагрузках.

Проведенные исследования показали, что посредством варьирования интенсивностью направленных колебаний создается возможность управления параметрами точности и качества обрабатываемых поверхностей при вибрационном точении высокопластичных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Подураев, В.Н. Обработка резанием с вибрациями. - М.: Машиностроение, 1970. - 352 с.
2. Кумабэ, Д. Вибрационное резание: Пер. с яп. С. Л. Масленникова / Под ред. Портнова И. И., Белова В. В. - М.: Машиностроение, 1985. - 424 с.
3. Жарков И.Г. Вибрации при обработке лезвийным инструментом. - Л.: Машиностроение, 1986. - 184 с.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ СПОСОБЫ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.793.001.57:621.777.42

Харченко В.В., Мрочек Ж.А.

АДГЕЗИЯ КАК ФИЗИЧЕСКОЕ ЯВЛЕНИЕ, ОБУСЛОВЛЕННОЕ СВОЙСТВАМИ МАТЕРИАЛОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ ПРОЦЕССА ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

С точки зрения существующих представлений об образовании молекулы за счет взаимодействия валентных электронов изменение сцепления поверхностей разнородных тел не представляется возможным. Это обусловлено тем, что согласно этим представлениям атомам разнородных молекул достаточно сблизиться на расстояния, обеспечивающие их притяжение, и адгезия между ними будет создана. Однако такие представления не отвечают результатам экспериментальных исследований. Например, сближение атомов кристаллических решеток на расстояния, меньшие параметра кристаллической решетки, не приводят к соединению атомов разнородных или даже однородных зерен, в частности, металлов. Такое несоответствие, как впрочем, и иные противоречия, возникающие при попытке использования указанной модели молекулы для объяснения физических явлений, привели к иной ее форме представления, иным принципам образования и существования [1], которые отвечают экспериментальным данным и позволяют дать объяснения, в том числе и рассматриваемому явлению.

Общепринято полагать, что, так как масса электрона мала по сравнению с массой ядра, то движением последнего в процессе столкновения атома с электроном можно пренебречь [2]. Однако пренебрегать зарядами взаимодействующих частиц нельзя, а, следовательно, нельзя пренебрегать при таких столкновениях и энергией, характеризующей кинетическую энергию ядра. С учетом представлений об энергии атома в невозбужденном состоянии, как энергии, которая определяется движением электронов и взаимным расположением взаимодействующих частиц атома (электроны, ядро), соотношение, определяющее значение энергии атома при его столкновениях с другим атомом или с иными заряженными частицами, можно записать в виде

$$W_a = W_{e\text{ kin}} + W_{n\text{ kin}} + |W_{\text{pot}}|, \quad (1)$$

где $W_{e\text{ kin}}$ – суммарная кинетическая энергия электронов; $W_{n\text{ kin}}$ – кинетическая энергия ядра для возмущенных состояний атома; W_{pot} – суммарная потенциальная энергия взаимодействия между всеми частицами, входящими в атом.

Поскольку внутренняя энергия атома в невозбужденном состоянии определяется соотношением

$$W_a = W_{e\text{ kin}} + |W_{\text{pot}}|, \quad (2)$$

следовательно, можно утверждать, что в возбужденном состоянии, когда энергия атома характеризуется энергией, задаваемой соотношением (1), атом перестает быть нейтральной системой различных заряженных частиц, и напряженность электрического поля на границах также перестает равняться нулю. Именно это обстоятельство является одним из факторов, обу-

связывающих возможность соединения атомов в молекулу, модель которой представлена в [1]. Энергия атома в молекуле в этом случае продолжает определяться соотношением (1). Однако значения слагаемых энергии претерпевают изменения, и в отличие от слагаемых для одиночного атома в возбужденном состоянии они для молекулы становятся периодическими. Учитывая, что атомы в молекуле не являются нейтральными системами, их количество в ней должно быть вполне определенным, с тем, чтобы удовлетворялось условие нейтральности молекулы. Пространство молекулы, определяемое таким взаимодействием, задается несколькими зонами (рис. 1).

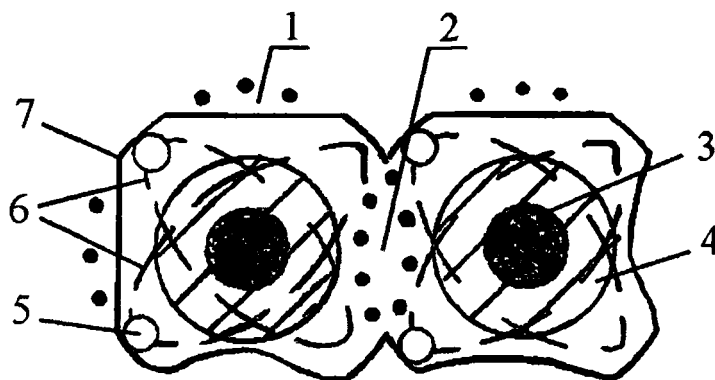


Рис. 1. Схема фрагмента молекулы:

1 и 2 – закрытая и запрещенная область для попадания электронов;
3 – ядро; 4 – область, в которой располагаются внутренние электроны атома; 5 – электрон;
6 – вероятные траектории движения внешних электронов; 7 – условный контур границ атомов

Во-первых, это зона существования частиц, образующих молекулу, и полей взаимодействия между ними, образующих нейтральную область. Во-вторых, в пространстве этой зоны существует запрещенная зона для попадания электронов. В-третьих, в структуре молекулы в силу определенной ограниченности движения электронов в атоме, возникающей из-за наличия запрещенных зон, часть шарообразного пространства свободных атомов становится ограничено доступной – это закрытая область для попадания электронов. Отметим, что закрытая область, в отличие от запрещенной области, не входит в пространство, занимаемое атомом в молекуле, но, как и запрещенная зона, может менять свои размеры. Такое строение молекулы во многом определяет ее свойства, например, менять объем при изменении составляющих энергию молекулы.

Размеры запрещенной области в веществе задаются силами взаимодействия электрических полей движущихся по орбитам электронов одного контактирующего атома с ядром другого атома. При этом ускоренные движения электронов и ядер таких атомов осуществляются как с изменением направления движения, так и модуля скорости. Периодическое взаимодействие положительно и отрицательно заряженных частиц контактирующих атомов вызывает у них колебательные движения, частотой которых можно характеризовать размеры запрещенной для попадания электронов области. Кроме того, такие ускоренные движения электронов и ядер, взаимодействующих атомов, обуславливают возникновение электромагнитного излучения также как в вибраторе Герца и, следовательно, могут быть измерены. Очевидно, что такое излучение принадлежит к инфракрасной области спектра, поскольку, как и инфракрасное излучение, указанные колебательные движения возникают с возникновением молекулы. Экспериментальные же данные, подтверждающие наличие у невозмущенных одиночных атомов, из которых образуется молекула, какого-либо излучения, в том числе и инфракрасного, отсутствуют.

Наряду с инфракрасным излучением вещество одновременно может излучать и в другом диапазоне частот, например, в диапазоне частот видимого излучения. Ответственными за такое излучение являются отдельные атомы в молекуле. Находясь в возбужденном состоянии атомы в молекуле, представляют собой фактически самостоятельные колебательные системы, состоящие из колеблющегося ядра и электронов, которые, двигаясь вокруг колеблющегося яд-

ра. вынуждены реагировать на его колебания, но результат такого реагирования может наступать только при определенных энергиях взаимодействия. Он выражается в электромагнитном излучении, имеющем дискретный характер. Таким образом, в молекуле одновременно существуют две колебательные системы, образованные фактически одними и теми же частицами – ядрами и электронами атомов и отличающиеся тем, что в одном случае эти частицы принадлежат одному атому (внутриатомная колебательная система), а в другом – двум или большему числу контактирующих атомов (межатомная колебательная система).

Значит, условием существования молекулы при тех или иных энергетических характеристиках ее атомов является не только нейтральность ее границ при определенном количественно конгломерате из них, но и возможность установления равенства между частотами их колебаний, т.е.

$$\nu_1 = \nu_2 = \nu_3 = \dots = \nu_N, \quad (3)$$

где ν_i – частота колебаний i -го атома молекулы; $i = 1, 2, 3, \dots, N$; N – количество атомов в молекуле. Из этого следует, что соединения молекул (зерен) веществ осуществляются при их механических воздействиях друг на друга [3–5], приводящих к взаимодействию электронов атомов одного вещества с ядрами атомов другого вещества и наоборот и установлению в дальнейшем равенства частот колебаний их атомов в молекулах.

В зависимости от тех или иных энергетических условий реализации процесса, между соединяемыми молекулами создаются определенные связи, которые в последствии с изменением внешних энергетических условий также меняются, что приводит к различной адгезии материалов и возникновению напряжений в зоне образованной границы. Действительно, характеризуясь различной частотой инфракрасного излучения колебания атомов в соединенных молекулах, могут обуславливать как возможность затухания колебаний в межатомных связях между молекулами в силу определенной разности частот колебаний, так и установления одинаковых частот колебаний. Такие представления позволяют в первом приближении объяснить закономерности наличия промежуточных температур для плавления сплавов материалов между наибольшими и наименьшими температурами плавления компонентов сплава, механизм формообразования электромагнитных покрытий на поверхности изделия, ультразвуковую сварку разнородных материалов и другие электрофизические явления.

Учитывая, отсутствие как противоречий приводимых представлений с любыми известными экспериментальными результатами, так и отсутствие необходимости введения каких-либо дополнительных понятий вне представлений об атоме и молекуле, можно утверждать о создании одного из вариантов модели механизма образования адгезии. Модель позволяет не только объяснять процесс адгезии, но и управлять им при использовании знаний о частотах излучений веществами в инфракрасной области при различных температурах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макушок, Е.М., Харченко, В.В. О моделях молекулы, их значении в развитии представлений об электропроводности и создании технологий снижения сопротивления материалов // Теория и практика машиностроения. 2003. №2. С. 17–20.
2. Мотт Н., Месси Г. Теория атомных столкновений. М.: Мир, 1969. 756 с.
3. Харченко В.В., Тюрин Л.Н., Макушок Е.М. и др. Некоторые закономерности процесса нанесения радиальным обжигом покрытия на прессуемый профиль // Весці АН Беларусі. Сер. Фіз.-тэхн. Навук. 1994. №2. С. 43–47.
4. Харченко В.В., Мрочек Ж.А. Получение пленочных покрытий прессованием // Машиностроение. – Мн. 2007. – Вып. 22. С. 34–37.
5. Семенов А.П. Трение и адгезионное взаимодействие тугоплавких материалов при высоких температурах. М.: Наука, 1972. 160 с.

ГАЗОПЛАМЕННЫЕ АНТИКОРРОЗИОННЫЕ ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ ЗАЗЕМЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Заземляющие устройства являются неотъемлемой частью электрических устройств распределительных и электрических систем. На них возлагаются многочисленные функции по обеспечению надежной и безопасной работы электрических установок в выбранном или заданном для них режиме. Защитное заземление обеспечивает безопасность обслуживающего персонала. Заземление грозозащиты служит для отвода токов молнии в землю для защиты разрядников или молниеотводов (стержневых или тросовых).

Совершенствование способов передачи электрической энергии, ухудшение экологической обстановки ставит новые, зачастую специфические требования к заземляющим устройствам.

Одной из основных проблем заземлителей и их элементов электрических сетей и подстанций является повышение их коррозионной стойкости. Особо остро эта проблема стоит для вертикальных заземлителей. Наибольшей интенсивностью обладает коррозия вертикальных заземлителей на границе раздела „земля–воздух“. Коррозия вертикальных заземлителей приводит к большим потерям металла и может привести к их полному разрушению на незначительной глубине от поверхности грунта. В связи с этим наряду со специальными методами контроля предусмотрен и визуальный контроль степени коррозии путем раскопки грунта на глубину до 30 см.

Нами предпринята попытка раскрыть механизм коррозии заземляющих устройств электрических систем и подстанций в зоне перехода “воздух–земля” и на основании теоретических и экспериментальных исследований разработать технологические методы ее уменьшения.

На поверхности металла, погруженного в почву с определенной степенью влажности и наличием в ней растворимых солей кислот и щелочей, включая деполиризаторы и ангибиторы, обычно идут реакции двух типов. Одна из них – реакция окисления или анодная реакция, в результате которой освобождаются электроны, например, $\text{Fe} \rightarrow \text{Fe}^{+2} + 2\text{e}^-$, а другая – реакция восстановления или катодная реакция, в результате которой присоединяются электроны, освобожденные в результате реакции окисления:



Вследствие одновременного протекания анодных и катодных реакций на поверхности металла создаются электрохимические элементы. Место протекания анодных и катодных реакций, т.е., анодов и катодов коррозионной ячейки определяется множеством факторов, в том числе, дефектами кристаллической решетки, содержанием кислорода и его флуктуацией на поверхности металла и т.д. Наибольший интерес представляет флуктуация кислорода на поверхности вертикальных заземлителей.

Так как на границе раздела „земля–воздух“ концентрация кислорода в воздухе и приповерхностных слоях грунта с одной стороны и в грунте на некоторой глубине со второй стороны будет различной, то между участком заземлителя, находящимся в воздухе и приповерхностных слоях грунта и участком, лежащим на некоторой глубине от поверхности раздела, будет возникать разность электрических потенциалов E . Величина возможных электрических потенциалов на поверхности заземлителя зависит от концентрации кислорода в воздухе и в грунте, температуры, водородного показателя (ионной активности) pH и др. Наличие в грунте влаги, солей кислот и щелочей, сульфатвосстанавливающих бактерий и т.п. способствует об-

разованию электролитов вокруг заземлителя, таким образом, заземлитель можно рассматривать как гальванический элемент.

В общем случае реакцию в гальваническом элементе можно записать в следующем виде:



где l – моль вещества L ; m – моль вещества M и т.д. реагируют с образованием q молей вещества Q , молей вещества R и т.д.

Соответствующее изменение энергии Гиббса ΔG для этой реакции определяется по разности суммарной молярной энергии продуктов реакции и реагирующих веществ:

$$\Delta G = (q \cdot G_Q + r \cdot G_R + \dots) - (l \cdot G_L + m \cdot G_M + \dots), \quad (5)$$

где G_Q – молярная энергия Гиббса вещества G и т.д.

Аналогичное выражение будет и для каждого вещества в стандартном, произвольно выбранном состоянии, при этом символ G_0 обозначает стандартную молярную энергию Гиббса:

$$\Delta G^0 = (q \cdot G_Q + r \cdot G_R + \dots) - (l \cdot G_L + m \cdot G_M + \dots), \quad (6)$$

Разность энергий Гиббса вещества L в любом заданном и в стандартном состоянии определяется из выражения

$$L(Q_L - Q_L^0) = lRT \cdot \ln a_L = RT \cdot \ln a_L^l \quad (7)$$

где $R = 8,314$ Дж/(К·моль) – газовая постоянная; T – абсолютная температура, °К; a_L – так называемая активность вещества L , представляющая собой скорректированную концентрацию или парциальное давление вещества L .

Вычитая из уравнения (5) уравнение (6) и подставляя соответствующие активности, получаем выражение:

$$\Delta G - \Delta G^0 = RT \cdot \ln \frac{a_Q^q \cdot a_R^r \cdot \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \cdot \dots} \quad (8)$$

Если реакция равновесна, $\Delta G=0$ и

$$\frac{a_Q^q \cdot a_R^r \cdot \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \cdot \dots} = K, \quad (9)$$

где K – константа равновесия реакции. Тогда

$$\Delta G^0 = -RT \cdot \ln K \quad (10)$$

С другой стороны, когда активность всех реагирующих веществ и продуктов реакции равна единице, логарифм отношения произведений активностей равен нулю

$$\ln 1 = 0 \text{ и } \Delta G = \Delta G^0 \quad (11)$$

Но так как

$$\Delta G = -E \cdot n \cdot F, \quad (12)$$

То

$$\Delta G^0 = -E^0 \cdot n \cdot F, \quad (13)$$

где E^0 – э.д.с. элемента, реагенты и продукты реакции которого находятся в стандартном состоянии (их активности равны единице); n – число электронов или химических эквивалентов, участвующих в реакции; F – число Фарадея (96500 Кл/моль).

Тогда в соответствии с уравнением (8) имеем:

$$E = E^0 - \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_Q^q \cdot a_R^r \cdot \dots}{a_L^l \cdot a_M^m \cdot \dots} \quad (14)$$

Это уравнение с точки зрения электрохимического механизма коррозии выражает значение э.д.с. элемента в зависимости от активности реагирующих веществ и продуктов реакции этого элемента называется уравнением Нернста.

Активность a_L растворенного вещества L равна его концентрации в молях на 1000 граммов воды (молярности), умноженной на поправочный коэффициент γ , называемый коэффициентом активности. Он зависит от температуры и концентрации вещества. Если вещество находится в газообразном состоянии, то его активность равна его летучести и при обычных давлениях численно равна давлению, выраженному в атмосферах.

Поскольку э.д.с. элемента представляет собой алгебраическую сумму двух электродных потенциалов или, как в нашем случае, двух полуэлементов, легко рассчитать разность потенциалов полуэлементов заземлителей, лежащих на поверхности и на некоторой глубине в грунте в соответствии с формулой (14).

Например, для электродной реакции железа $Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$, $n = 2$, имеем:

$$E_{Fe} = E_{Fe}^0 - \frac{RT}{2F} \ln \frac{a_{Fe}}{a_{Fe}^{2+}}, \quad (15)$$

где E_{Fe}^0 – так называемый стандартный потенциал железа (равновесный потенциал железа в контакте с Fe^{2+} при $a_{Fe}^{2+} = 1$); a_{Fe} – активность железа ($a_{Fe} = 1$); a_{Fe}^{2+} – активность ионов железа, равная произведению молярности на коэффициент активности.

Значения стандартных потенциалов приводятся в справочной литературе по химии.

Таблица 1 – Значения стандартных потенциалов для некоторых металлов

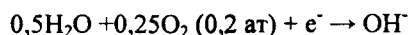
Электродная реакция	Стандартный потенциал E^0 при 25°C, В
$Fe^{2+} + 2e^- = Fe$	-0,440
$Cu^+ + e^- = Cu$	0,521
$Cu^{2+} + 2e^- = Cu$	0,337
$Zn^{2+} + 2e^- = Zn$	-0,763
$Al^{3+} + 3e^- = Al$	-1,660

Величина э.д.с. в значительной степени зависит от ионной активности. Как показали исследования [1], при $pH = 4 \dots 10$ скорость коррозии зависит от скорости диффузии кислорода к доступным катодным поверхностям. Величина э.д.с., возникающая за счет флуктуации кислорода по длине заземлителя может достигать достаточно больших значений.

Так, например, при довольно близких к реальным условиям окисления (парциальное давление кислорода, как и в воздухе, принято равным 0,2 атмосферы; активность железа как

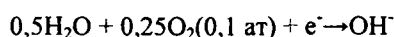
твердого вещества $a_{Fe} = 1$; активность ионов железа $a_{Fe^{2+}} = 0.1$; ионная активность грунта $pH =$ (среднее между 4 и 10); $R = 8,314 \text{ Дж/(К·моль)}$; $T = 298,2 \text{ °K (25 °C)}$; $F = 95500 \text{ Кн/моль}$ и при переходе от натуральных логарифмов к десятичным расчет коэффициента $RT/2F$ дает значение последнего, равное $0,0592 \text{ В}$. Этот коэффициент часто используют при расчете электрических потенциалов гальванического элемента.

Первая часть железного полуэлемента находится в воздухе и приповерхностном влажном грунте с давлением кислорода $0,2$ атмосферы (как и на воздухе), вторая часть – на некоторой глубине, где давление кислорода незначительное, близкое к нулю. Для примера возьмем $0,01$ атмосферы. Тогда потенциал первой части электрода:



$$E_1 = -0,440 \lg \frac{a_{OH^-}}{0,2^{0,25}};$$

Потенциал второй части:



$$E_2 = -0,440 - 0,0592 \lg \frac{a_{OH^-}}{0,1^{0,25}}$$

Тогда разность потенциалов между верхней и нижней частями заземлителя за счет флуктуации кислорода составит:

$$E_{Fe} = E_2 - E_1 = -0,0592 \lg \frac{0,2^{0,25}}{0,1^{0,25}} = -\frac{0,0592}{4} (\lg 0,2 - \lg 0,1) = -0,00368 \text{ В}$$

При парциальном давлении кислорода $0,01$ атмосферы разность потенциалов уже составит $-0,0193 \text{ В}$, т.е., почти на порядок выше.

Отрицательное значение э.д.с. указывает на то, что в любом элементе дифференциальной аэрации электрод, контактирующий с кислородом при низком давлении последнего стремится быть анодом, а при более высоком – катодом. На поверхности катода образуется электропроводящий оксид железа, который в контакте с аэрированными растворами в грунте, действует как кислородный электрод. На поверхности анода образуется Fe^{2+} и он действует как железный электрод. Следовательно, при протекании электрического тока между анодным и катодным участками заземлителя на анодной части происходит интенсивный процесс коррозии с образованием пittingов, что, в конечном итоге приводит к разрушению анодной части заземлителя.

Исходя из основоположений электрохимической модели коррозии анодной части вертикальных заземлителей можно рекомендовать следующие основные методы повышения коррозионной стойкости заземлителей:

1. Изоляцию приповерхностной части заземлителя на глубину порядка $0,3...0,35 \text{ м}$ битумным покрытием, уменьшающим флуктуацию кислорода на заземлителе по глубине. Однако, следует отметить, что этот метод значительно снижает электрическое сопротивление заземляющего устройства и требуется увеличивать глубину его погружения в грунт.

2. Катодную защиту. В этом случае на поверхность заземлителя наносят покрытие из другого металла с более отрицательным потенциалом, или поверхность обрабатывают таким образом, чтобы ее потенциал достиг более отрицательной величины, чем у поверхности, не подвергнутой обработке. Примерами давно известной обработки такого рода может служить горячее гальванирование – нанесение на сталь цинкового покрытия путем погружения в расплавленный цинк, а также электроосаждение, при котором покрытие наносят непосредственно на сталь (никелирование, хромирование и т.п.). Однако, как показала практика, цинковые покрытия относительно стойки в условиях сельской местности. В грунтах с осадками промышленной зоны средний срок их службы снижается почти в два раза. Кроме того, цинковые по-

крытия весьма чувствительны к воздействию серной кислоты, содержащейся в загрязненном воздухе и грунте. Никелевые, хромовые и оловянные покрытия не корродируют в нейтральных или близких к нейтральным средам, но менее устойчивы в кислых и щелочных средах, т.е., они также взаимодействуют с кислотами и щелочами, подвергаясь разрушению.

3. Создание и обеспечение развития на металлической поверхности заземляющих устройств защитных (пассивирующих) пленок. Пассивирующие пленки на металлической поверхности снижают скорость коррозии за счет уменьшения величины гальванического тока. В работе [2] отмечается, что получение на металлической поверхности некристаллической (аморфной) структуры значительно снижает скорость коррозии металла. Другим примером того, что аморфные пленки обеспечивают высокую коррозионную стойкость, является применение в промышленности аморфного сплава системы Ni-Cr-B-C. Исследованиями [3] установлено, что величина тока пассивации для этого сплава почти на два порядка меньше, чем для аналогичного по составу сплава с кристаллической решеткой. Такая способность аморфных покрытий снижать ток пассивации является следствием уменьшения потоков ионов с анодной части.

4. Аморфные слои на металлической поверхности можно получать имплантацией ионов, например хрома, лазерной закалкой и лазерным легированием, электроосаждением сплава-покрытия, содержащего компоненты, способствующие образованию аморфных пленок и т.д. Путем нанесения покрытий аморфной структуры можно изменить и потенциал металлической поверхности до величины, характерной для иммунной области коррозии. Этот метод защиты заземляющих устройств от коррозии представляется весьма перспективным, однако их применение в настоящее время сдерживается сложностью оборудования, большой трудоемкостью и высокой стоимостью.

5. Газотермическое напыление порошковых сплавов системы Ni-Cr-B-Si на часть поверхности заземлителя, наиболее подверженному коррозии. В НИЛ упрочняющих технологий Белорусского национального технического университета разработан способ повышения коррозионной стойкости вертикальных заземлителей в стационарных условиях путем газотермического напыления порошковых материалов системы Ni-Cr-B-Si с последующей термической обработкой напыленных слоев. В соответствии с разработанной технологией сначала нижняя часть заземляющего устройства на длине до 0,5 м подвергается дробеструйной обработке для очистки от загрязнений и создания на поверхности шероховатой поверхности. После подготовки поверхности на нее наносится тонкий (0,1 ... 0,5 мм) слой порошкового материала типа ПГ-12Н-0,1, содержащего (8...14)%Cr, (1,7...2,5)%B, (1,2...3,2)%Si, (0,3...0,6)%C, (1,2...3,2)%Fe, остальное – никель. Напыление производится на бутан-пропановой смеси с кислородом. Так как пористость напыленных покрытий составляет обычно до 20%, что может привести к возникновению локальной коррозии и отслаиванию покрытия, для получения сплошного беспористого покрытия применяется его термическая обработка (оплавление). При этом изделие вместе с покрытием нагревается до температуры, близкой к температуре плавления покрытия (1050...1100°C). Оплавление можно производить с нагревом ТВЧ, в соляных ваннах, газопламенными кольцевыми горелками, в пламенных печах и т.д. Наиболее распространенным и универсальным способом оплавления покрытий является газопламенное оплавление.

6. Покрытия порошковыми материалами системы Ni-Cr-B-Si позволяют уменьшить электрохимический потенциал, возникающий на погруженной в землю части заземляющего устройства за счет флуктуации кислорода по длине заземлителя, и способствует образованию защитных пленок, снижающих величину тока пассивации.

7. Газопорошковая наплавка на часть поверхности заземляющего устройства. В лаборатории разработана мобильная технология нанесения покрытий газопорошковой наплавкой непосредственно в реальных условиях эксплуатации. Суть применения газопорошковой наплавки самофлюсующимися сплавами на основе никеля в полевых условиях заключается в следующем: в зоне перехода “земля-воздух” заземляющего стержня производится очистка его поверхности от грунта и продуктов коррозии и на очищенную поверхность производится наплавка с оплавлением защитного коррозионностойкого покрытия. Наплавка осуществляется на пропан-бутановой смеси с кислородом.

8. Лабораторные и эксплуатационные испытания показали, что вертикальные заземлители с напыленным и оплавленным покрытием порошковыми материалами системы Ni-Cr-B-Si практически не корродируют.

Заключение

В настоящей работе впервые предпринята попытка с использованием термодинамического подхода объяснить причины интенсивного разрушения вертикальных заземлителей в зоне „земля-воздух“. Вместе с тем, следует отметить, что такой подход обычно характеризует склонность к коррозии за счет флуктуации кислорода в среде, окружающей заземлитель, но не скорость коррозии. В тоже время, как показывает практика, склонность к коррозии может быть значительной, а скорость коррозии может оказаться достаточно низкой. Для определения скорости коррозии необходимо привлечение кинематического подхода, т.е., необходимо рассматривать соотношение между э.д.с. (склонностью к коррозии) и плотностью тока (скоростью коррозии), процессы пассивации поверхности и химические реакции, заживляющие пассивирующие пленки, что требует дальнейших исследований. Предложены и апробированы технологии (стационарная и мобильная) нанесения защитных коррозионностойких покрытий на разрушаемые поверхности вертикальных стержней в зоне перехода “земля-воздух”.

ЛИТЕРАТУРА

1. Whitman W., Russell R., Ind End Chem, 1924. V/ 16, P265.
2. Revesz A.L., Kruger I., Pas-of Metals, Frankenthal R. P., End., Electrochem. Soc., Princeton, №1., 1979, P. 137...155.
3. Hashimoto K., Osaka K., Masumoto T., Shimodaira S., Corrosion Sci., 16- 71 (1976)

УДК 621.793

Адаменко Д.В. (студент гр. 103415), Сокоров И.О.

К ВОПРОСУ ОБ ИССЛЕДОВАНИИ ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ПРИ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Термин *фреттинг* используется для обозначения малого колебательного скольжения между поверхностями двух контактирующих тел. Амплитуда такого движения обычно составляет 1 – 100 мкм. Изнашивание, возникающее при таком движении, называют *фреттинг-изнашиванием* [1].

Различают два вида фреттинг-изнашивания в зависимости от механических факторов и факторов, связанных с окружающей средой. Если повреждение при фреттинге вызвано циклическим нагружением, стимулирующим появление поверхностных усталостных трещин, в конечном итоге приводящим к катастрофическому разрушению, то используют термин *фреттинг-усталость*. Вид фреттинга, при котором преобладают химические реакции, получил название *фреттинг-коррозии*. Как правило, оба типа фреттинга протекают одновременно. Циклическое микроперемещение вызывает разрушение защитной (например, оксидной) пленки, покрывающей поверхность металла. Обнажившийся металл легко окисляется, а продукты окисления могут действовать как абразив, приводя к повреждению поверхности.

Относительное скольжение является необходимым условием образования фреттинг-коррозии. При постоянной частоте колебаний изменение амплитуды относительного скольжения приводит к изменению скорости относительного перемещения поверхностей, что может сказываться на условиях трения. Это, в свою очередь, может привести к изменению интенсивности развития фреттинг-коррозии [2].

Некоторые экспериментальные данные показывают, что фреттинг-коррозия начинается

при весьма малых величинах перемещения. Так, Томлинсон отмечает [3, 4], что повреждение поверхности наступает даже тогда, когда относительное перемещение составляет несколько межатомных расстояний. Тем не менее, часть исследований проводилась и при больших амплитудах (до 2 мм).

При анализе интенсивности фреттинг-коррозии важно установить границу значения амплитуд, которая определяла бы специфику условий разрушения поверхности при фреттинг-коррозии по сравнению с износом при обычном трении скольжения.

Авторами [1] исследовалось влияние амплитуд 0,007 – 0,1 мм на интенсивность износа некоторых материалов в условиях вибраций при удельных нагрузках 2 и 10 МПа. Износ для каждой амплитуды соответствует постоянному количеству циклов колебаний (250·103 циклов). Для нагрузки 2 МПа амплитудные зависимости износа исследованных материалов приведены на рис. 1.

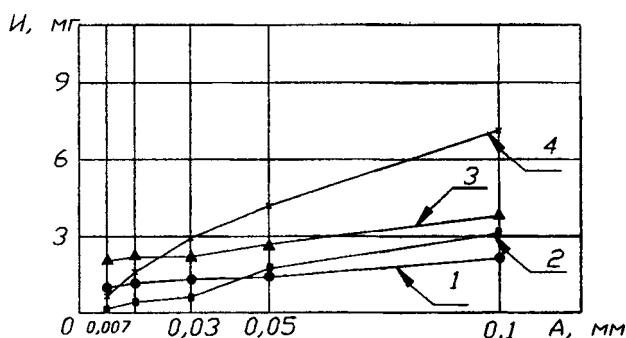


Рис. 1. Зависимость износа (И) от амплитуды относительного скольжения (А) при $p=2$ МПа;
 $f=25$ Гц; $N=250 \cdot 10^3$ цикл:
 1 – сталь 1Х18Н9Т; 2 – сталь 45 закаленная; 3 – бронза БрАЖН9-4-1; 4 – сталь 45 нормализованная

Из анализа полученных данных авторы сделали вывод, что независимо от природы материалов и удельных нагрузок износ при фреттинг-коррозии прямо пропорционален величине амплитуды относительного скольжения в исследуемом диапазоне значений. Скорость изменения износа с ростом амплитуды для разных материалов неодинакова и зависит от удельной нагрузки.

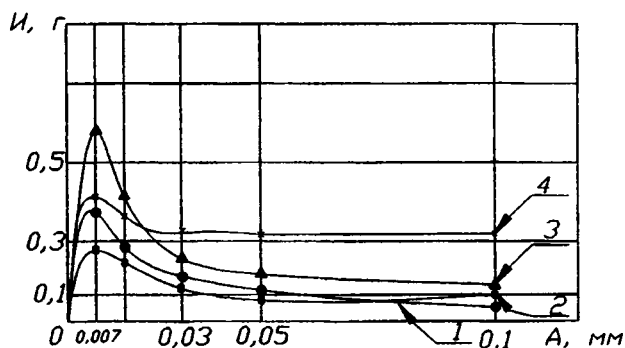


Рис. 2. Зависимость приведенного износа от амплитуды относительного скольжения при $p=2$ МПа;
 $f=25$ Гц; $N=250 \cdot 10^3$ цикл:
 1 – сталь 1Х18Н9Т; 2 – сталь 45 закаленная; 3 – бронза БрАЖН9-4-1; 4 – сталь 45 нормализованная

Для получения более объективной информации авторы [1] привели износ при различных амплитудах скольжения к постоянному пути скольжения. Приведенный износ характеризует интенсивность разрушения поверхности в зависимости от амплитуды скольжения. Результат пересчета износа к 1·103 м пути приведен на рисунке 2.

Исследования поверхностей трения показали, что с увеличением амплитуды скольжения интенсифицируются процессы схватывания, причем с повышением нагрузки активизация указанных процессов начинается при более низких амплитудах [1]. Следовательно, можно за-

ключить, что при пониженных амплитудах скольжения интенсификация износа при фреттинг-коррозии вызывается процессами, отличными по своей природе от схватывания. Такими процессами являются локальное абразивное действие продуктов износа и усталостное разрыхление металла, усугубленное химической активизацией поверхности трения. Очевидно, одним из необходимых условий развития такого специфического поверхностного разрушения является пониженная скорость реверсивного скольжения.

Повышенная склонность к схватыванию (например, бронзы и стали 1X18H9T) может активизировать усталостные процессы в поверхностных слоях, что проявляется в более монотонном характере снижения интенсивности износа при увеличении амплитуды скольжения (рис. 2, кривые 1, 2). В свою очередь, с увеличением удельной нагрузки, когда происходит дополнительная активизация процессов схватывания, и при малых амплитудах скольжения величина амплитуды должна меньше влиять на характер изменения интенсивности фреттинг-коррозии, что и наблюдается для стали 1X18H9T. По той же причине при высоких удельных нагрузках для нормализованной стали 45 увеличивается амплитудный диапазон перехода от одной формы разрушения поверхности к другой. Стабильность поведения закаленной стали 45 и бронзы с изменением нагрузки, может быть связана с большой твердостью и прочностью закаленной стали 45 и с повышенной склонностью бронзы к схватыванию.

Наблюдающееся увеличение коэффициента трения с ростом амплитуды скольжения также свидетельствует о том, что при повышенных амплитудах выход продуктов фреттинг-коррозии из зоны контакта облегчается, что увеличивает вероятность контакта исходных металлических поверхностей и их схватывания. Кроме того, не исключено, что с увеличением амплитуды скольжения микровыступы одной поверхности начинают взаимодействовать с большим количеством неровностей сопряженной с ней поверхности. В результате этого возрастает количество знакопеременных взаимодействий в пятнах фактического контакта, что и проявляется в изменении фрикционных характеристик.

С величиной амплитуды скольжения при фреттинг-коррозии связана скорость относительного перемещения контактирующих поверхностей, которая может существенно влиять на характер и величину износа. Правда, до настоящего времени нет единого мнения о величине амплитуды, которая ограничивает условия возникновения собственно фреттинг-коррозии без наложения эффектов, свойственных обычному однонаправленному скольжению.

Имеются некоторые данные о том, что при низких частотах (1000.цикл/мин и менее) повреждение, определяемое для данного числа циклов, тем больше, чем ниже частота (рис. 3) [5].

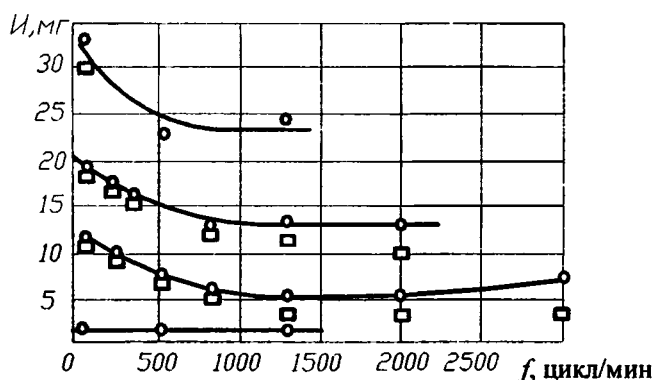


Рис. 3. Влияние частоты колебаний (f) на повреждение стали при фреттинге с различными амплитудами проскальзывания при давлении 36,5 МПа:

1 — проскальзывание 10 мкм, число циклов 67800; 2 — проскальзывание 90 мкм, число циклов 67800; 3 — проскальзывание 90 мкм, число циклов 475800, 4 — проскальзывание 230 мкм, число циклов 67800;
 □ — без поправки на температуру; ○ — с пересчетом на 25°С

Причина этого состоит в наличии коррозионного фактора при фреттинг-коррозии. Поскольку коррозия, которая включает и окисление, является химическим процессом, она зависит от времени. Следовательно, чем ниже частота, тем дольше длится каждый цикл и тем больше время действия химических факторов. Из этого можно заключить, что не следует ожидать

влияния частоты, если фреттинг происходит в пассивной атмосфере. Фен и Улиг показали, что это справедливо для стальных поверхностей, подвергающихся фреттингу в азоте. Кроме того, из их опытов видно, что при частотах выше 1000 цикл/мин влиянием частоты можно пренебречь. Это же подтвердили Рид и Беттер [6], которые исследовали влияние частоты в диапазоне от 3000 до 6000 цикл/мин. На первый взгляд, кажется, что частота оказывает влияние, однако эти результаты приведены для заданного периода фреттинга, а не для заданного числа циклов. Большинство экспериментальных исследований проводилось при частотах выше 1000 цикл/мин, поэтому при сравнении результатов этим фактором можно пренебречь.

Если амплитуда проскальзывания поддерживается постоянной, то объем повреждений при фреттинге плоских стальных поверхностей возрастает линейно с приложением нормальной нагрузки [7].

Авторы работы [8] обнаружили повышение скорости повреждения с увеличением нагрузки в случае фреттинг-износа спеченных алюминиевых порошков. Эти результаты представлены на рис. 4, который включает случаи фреттинга, вибрирующей нормальной нагрузки и комбинации того и другого. Как видно, последнее имеет гораздо большее повреждающее влияние, чем тот или иной из видов отдельно.

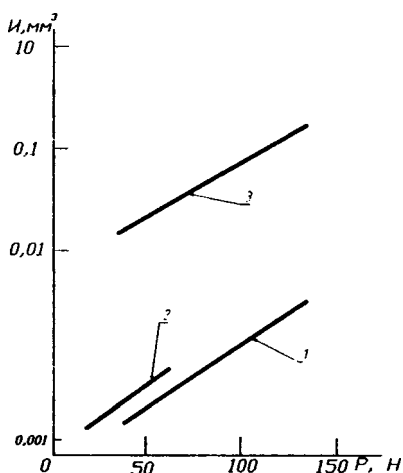


Рис. 4. Зависимость объемных потерь за 24 ч от нормальной нагрузки и вибрации:
1 – вибрация по нормали, 2 – фреттинг, 3 – комбинированная вибрация

В системах, где увеличение нормальной нагрузки приводит к снижению амплитуды проскальзывания, эти два фактора действуют взаимно противоположно, так что повреждение сначала возрастает, проходит через максимум, а затем снижается [9].

В нашем случае важно рассмотреть влияние на фреттинг-коррозию удельной нагрузки, которая зависит от площади контакта трибопары «опорная поверхность вала – буксовая втулка (или втулка подшипника)». В процессе изнашивания изменяется площадь фактического контакта сопряженных поверхностей и глубина поверхностных слоев металла, принимающих участие в процессах трения и разрушения, следовательно, изменяется и удельная нагрузка.

В работе [10] представлены данные по влиянию удельной нагрузки на износ при фреттинге. Эти данные представлены в виде, позволяющем сравнить их с результатами Фена и Улига [5], Рида и Беттера [6], также приведенными на рисунке. При этом не была произведена коррективировка по частоте циклов, которая в последнем случае составляла 6060 цикл/мин, а в опытах Фена и Улига – всего лишь 540 цикл/мин. Низкая частота могла дать более высокие результаты повреждаемости за данное число циклов. Следовательно, соответствие между данными Райта и Фена и Улига хорошее (рис. 5).

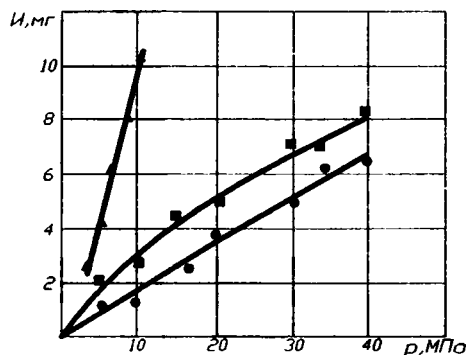


Рис. 5. Зависимость износа стали от удельной нагрузки при фреттинг-коррозии ($A=90$ мкм, $N=67\ 800$ циклов):
1 – по данным Райта ($f=38$ Гц); 2 – Фена и Улига ($f=9$ Гц); 3 – Рида и Беттера ($f=101$ Гц)

Задачу выделения ведущего процесса при фреттинг-коррозии в случае его затруднительного определения по внешним признакам можно решить методом от обратного [11]. Для этого необходимо исследовать износостойкость поверхностей, обработанных различными технологическими способами, на испытательных машинах, которые воспроизводят основные ведущие процессы. Высокая эффективность защиты обеспечивается лишь при соответствии метода защиты и ведущего процесса. При этом сама эффективность может оцениваться двумя критериями: отношением количества циклов N к линейному износу образца W , а также значением коэффициента трения. Пользуясь такой методикой [11], можно дать количественную оценку сопротивления поверхности, упрочненной различными технологическими способами разрушению фреттинг-коррозией.

В соответствии с тремя периодами протекания фреттинг-коррозии можно выделить три ведущих процесса, сопутствующих этим трем периодам. Первопричиной развития первого периода фреттинг-коррозии выступают интенсивно протекающие пластические деформации. Для второго периода ведущим процессом является окисление, а для третьего – разрыхление материала с образованием новых свободных поверхностей.

Повреждение контактирующих поверхностей в условиях фреттинг-коррозии определяется в основном рядом ведущих процессов – коррозионно-усталостными процессами, схватыванием и микрорезанием. Хотя эти процессы развиваются в поверхностном слое одновременно, однако, с учетом свойств контактирующих материалов и условий нагружения один из этих процессов становится ведущим и именно он, в основном, лимитирует ресурс работы контактирующих деталей. Такая дифференциация ведущих процессов позволяет рационально классифицировать методы защиты от того или иного ведущего процесса.

На основе проведенного анализа литературных данных по исследованию фреттинг-коррозии, влияния различных факторов (механического воздействия, химической активности окружающей среды, природы контактирующих материалов) на интенсивность изнашивания при фреттинг-коррозии, а также методов защиты от нее можно сделать вывод о том, что для обеспечения долговечности деталей, работающих в условиях фреттинг-коррозии и высоких удельных нагрузок наиболее рациональным является нанесение на их рабочие поверхности покрытий с требуемыми физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Учитывая специфику таких деталей, как крупногабаритные тяжелонагруженные валы для нанесения покрытий на их рабочие поверхности применимы методы газотермического напыления покрытий.

При выборе оборудования и методики испытаний для проведения исследований фреттинг-коррозии необходимо выдержать ряд требований. С одной стороны имитация фреттинг-коррозии в лабораторных условиях должна максимально приближаться к условиям возникновения этого вида поверхностного разрушения в реальных конструкциях. С другой стороны выбранная методика должна давать возможность сопоставления полученных результатов с данными других работ. В связи со специфичностью условий возникновения фреттинг-коррозии испытательным устройствам предъявляются следующие требования:

- свободное от люфтов крепление образцов в соответствующих зажимных устройствах;

- жесткость к перемещению образцов друг к другу и малая степень деформации устройства;
- наличие виброскользящего движения, регулируемой частоты и амплитуды;
- наличие контролируемой нормальной силы для создания необходимой удельной нагрузки.

По характеру контактирования поверхностей применявшееся для исследований фреттинг-коррозии установки приборы можно разделить на два типа:

1) Установки, в которых осуществляется точечный или линейный контакт (шар-плоскость, цилиндр-плоскость).

2) Установки для создания вибраций в контакте плоских поверхностей.

Перечисленным требованиям к установкам и характеру контактирования отвечает установка, изготовленная этой установкой в БНТУ.

Кинематическая схема установки представлена на рис. 6.

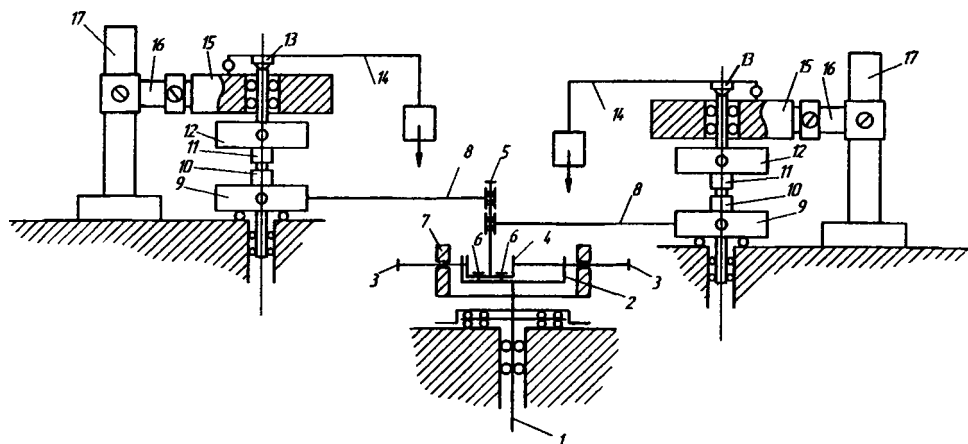


Рис. 6. Кинематическая схема установки для испытаний на фреттинг-коррозию:

- 1 – вал-шпиндель; 2 – каретка; 3 – винт; 4 – подвижная каретка; 5 – ось; 6 – винт; 7 – подвижное кольцо;
8 – шатун; 9 – головка; 10 – подвижный образец (контртело); 11 – неподвижный образец;
12 – подвижная головка; 13 – сферический подпятник; 14 – рычаг;
15 – самоустанавливающийся узел; 16 – консоль; 17 – стойка

От двухскоростного электродвигателя через сменные шкивы и клиноременную передачу вращение передается к валу-шпинделю 1, на котором установлена каретка 2. По внутренней поверхности каретки при помощи винтов 3 может перемещаться подвижная каретка 4 с осью 5. Фиксация каретки 4 осуществляется винтами 6. Для устранения дисбаланса в конструкции механизма установки амплитуды микроскольжения предусмотрено подвижное кольцо 7. Эксцентричное движение оси 5 передается посредством шатунов 8 головками 9, оси вращения которых смещены относительно точки крепления шатунов. В головке с помощью подвижных губок закреплен подвижный образец 10. Узел крепления неподвижного образца 11, 12 аналогичен. Головка 12 имеет возможность вертикально перемещаться в направляющих консоли 17, установленной на стойке 18. Нагружение образцов производится с помощью рычага 14 и грузов через сферические подпятники 13. Узел 16 консоли дает возможность самоустановки образцов в двух взаимно перпендикулярных плоскостях.

Данная установка позволяет производить испытания при амплитуде относительного микроскольжения от 0 до 2000 мкм, частоте колебаний от 6 до 100 Гц (за счет установки шкивов и двухскоростного двигателя), удельной нагрузке до 400 МПа.

В установке положено в основу торцевое трение контактирующих образцов, выполненных в виде полого кольца (подвижный образец) и цилиндра (неподвижный образец).

Выбранные наружный и внутренний диаметры образцов позволяют свести к минимуму эффект градиента скорости в радиальном направлении. Испытания образцов проводились согласно ГОСТ 23.211 – 80 «Обеспечение износостойкости изделий. Метод испытаний металлов на изнашивание при фреттинге и фреттинг-коррозии».

ЛИТЕРАТУРА

1. Hutchings, I.M. Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials / I.M. Hutchings. – Cambridge, 1992. – p.273.
2. Голего, Н.Л. Фреттинг-коррозия металлов / Н.Л. Голего, А.Я. Алябьев, В.В. Шевеля – Киев: «Техніка», 1974 – 272 с.
3. Tomlinson, G.A. – “Proc. R. Soc.”, A, 1927. – Vol. 115. – p.472.
4. Tomlinson, G.A., Thorpe, P.L., Gough, H.J. – “Proc. Instn. Mech. Engers.”, Vol. 141, 1939. – p. 223.
5. Feng, I.-M., Uhlig, H.H. – “J. Appl. Mech.”, 1954. – Vol. 21. – p. 395.
6. Reed, F.E., Batter, J. F. – “Trans. Am. Soc. Lubric. Engers”, Vol. 2, 1960. – p.159.
7. Уотерхауз, Р.Б. Фреттинг-коррозия. Пер. с англ. под ред. канд. техн. наук Г.Н. Филимонова. Л.: «Машиностроение», 1976. – 272с.
8. de Gee A.W.J., Commissaris C.P.I., Zaat J.H. – “Wear”, 1964. – Vol. 7. – p.535.
9. Uhlig, H.H., Tierney, W. D., Mc Clellan, A. – ASTM Spec. Tech. Publ., No. 144, 1953. – p.71.
10. Wright, K.H.R. – “Proc. Instn. Mech. Engers.”, Vol. 1 B, 1952-3. – p.556.
11. Алябьев, А.Я. Методы защиты деталей от фреттинг-коррозии // Надежность и долговечность авиационных газотурбинных двигателей. – Киев, КНИГА, Вып.1, 1971. – С.58-62.

УДК 621.793

Максимченко Н.Н.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА НАНЕСЕНИЯ ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ ПЛАКИРОВАНИЯ

*Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Получена математическая модель, позволяющая на стадии разработки технологического процесса определить режимные параметры метода плакирования гибким инструментом, обеспечивающие перенос композиционного материала покрытия на обрабатываемую поверхность, улучшение качественных характеристик сформированного покрытия и повышение эксплуатационных свойств узлов трения.

Введение. Метод плакирования гибким инструментом (ПГИ), основанный на механо-термическом воздействии ворса вращающейся металлической щетки на элемент из материала покрытия и обрабатываемую поверхность, при котором ворсинки щетки переносят частицы материала покрытия на поверхность детали, одновременно осуществляя ее наклеп, успешно применяется для формирования на деталях машин покрытий различного функционального назначения (антифрикционных, износо- и коррозионностойких, прирабочных), а также для восстановления изношенного поверхностного слоя [1-4]. Известно, что покрытия, сформированные методом ПГИ, по своим физико-механическим свойствам значительно отличаются от исходного материала, способствуя улучшению эксплуатационных свойств деталей. В частности, превышение микротвердости нанесенных покрытий над значениями микротвердости массивного материала, используемого для его нанесения, достигает десяти и более раз [2]. Износостойкость в зависимости от вида наносимого материала в условиях циркуляционной смазки при скорости относительного перемещения трущихся поверхностей 0,5 м/с повышается в 10–20 раз, предел выносливости на знакопеременный изгиб увеличивается на 14–20 % [1, 2]. Являясь экономичным, простым в использовании, экологически чистым способом формирования покрытий, метод ПГИ требует тщательного выбора технологических режимов нанесения покрытия, в зависимости от материала покрытия, условий эксплуатации, требуемых свойств покрытия и др. Имеющаяся научно-техническая информация касается в основном технологических режимов формирования однородных покрытий из таких материалов, как медь, латунь, алюминий. Для них разработаны математические модели, устанавливающие взаимосвязи между технологическими параметрами процесса ПГИ (относительное сближение оси щетки и обрабатываемой поверхности (натяг), скорость перемещения щетки по поверхности, усилие прижатия щетки, вре-

мя обработки) и толщиной покрытия, а также показателем износостойкости [1, 2]. Однако в некоторых случаях для обеспечения комплекса эксплуатационных свойств поверхностного слоя (износостойкости, усталостной прочности, прирабатываемости и т.п.) эффективнее использовать композиционные покрытия, в которых матричный материал легирован неметаллическими твердыми (карбидами, оксидами, боридами и др.) или мягкими (графит, дисульфид молибдена, фторопласт и др.) фазами [5, 6]. В случае добавки твердых веществ последние обеспечивают необходимую несущую способность поверхностного слоя, а пластичный матричный материал – оптимальные условия трения. В отличие от известных методов формирования композиционных покрытий, в частности, гальванических, технологические возможности метода ПГИ в области создания композиционных покрытий пока еще недостаточно изучены, имеется очень мало данных о влиянии состава материала покрытия и режимов его нанесения на физико-механические и эксплуатационные свойства получаемых композиционных покрытий. Легирующие элементы, внедренные в матрицу, создают определенные трудности при переносе материала покрытия металлической щеткой, препятствуя адгезии материала-донора к подложке, в отличие от однородных покрытий. Поэтому при выборе технологических режимов ПГИ, обеспечивающих перенос композиционного материала покрытия на обрабатываемую поверхность, с улучшенными качественными характеристиками сформированного покрытия и повышенными эксплуатационными свойствами узлов трения, использование рекомендаций, разработанных для однородных покрытий, не всегда дает положительный результат. В то же время подбор технологических режимов экспериментальным путем – весьма трудоемкий и длительный процесс, требующий проведения большого количества опытов. В этой связи разработка математической модели, позволяющей на предварительном этапе исследований определить режимные параметры процесса ПГИ, обеспечивающие формирование легированного неметаллическими фазами покрытия, представляет значительный научный и практический интерес.

Методика исследований. Разработку математической модели процесса ПГИ осуществляли с использованием методов математического планирования эксперимента [7, 8]. В качестве варьируемых факторов были взяты исходные технологические параметры процесса нанесения покрытий методом ПГИ: натяг N (фактор X_1), отношение линейной скорости перемещения обрабатываемой детали к линейной скорости вращения щетки $V_d/V_{щ}$ (фактор X_2), время обработки, количественно выражаемое числом проходов n щетки по поверхности детали (фактор X_3). Учитывая результаты собственных предварительных исследований и имеющиеся в литературе рекомендации [1], установили следующие интервалы варьирования факторов: N (фактор X_1) – 0,5...1,5 мм; $V_d/V_{щ}$ (фактор X_2) – 0,0015...0,0035; n (фактор X_3) – 3...9. Параметр оптимизации – толщина h композиционного покрытия. Для получения математической модели процесса в виде полинома второй степени был реализован некомпозиционный план второго порядка.

По технологическим режимам, соответствующим матрице планирования эксперимента, осуществляли формирование композиционного покрытия на экспериментальных образцах. В качестве материала-донора при нанесении покрытий использовали материалы на основе бронзы, легированной компонентами твердой смазки (графит, дисульфид молибдена), полученные методами порошковой металлургии из порошковой шихты прессованием с последующим спеканием. Покрытия наносили на прямоугольные образцы, изготовленные из серого чугуна СЧ-20. Для нанесения покрытия использовали стальную проволочную щетку с ворсом из стали 65Г (ГОСТ 1050-88). Геометрические параметры щетки: диаметр 250 мм, ширина 80 мм, вылет и диаметр ворса соответственно 47 мм и 0,2 мм. Для измерения толщины плакированного слоя использовали цифровой магнитный толщиномер МТЦ-3М. Значения толщины сформированных покрытий получали как среднее из 20-25 измерений. В зависимости от технологического режима ПГИ на обрабатываемой поверхности осаждались покрытия толщиной от 4 до 14 мкм.

Результаты. После статистической обработки экспериментальных данных и выделения статистически значимых коэффициентов регрессии по известным методикам была получена математическая модель процесса нанесения композиционного покрытия методом ПГИ:

$$h = 10,57 + 2,98X_1 - 0,74X_2 + 1,89X_3 + 1,08X_1X_3 - 2,85X_1^2.$$

Проверка по критерию Фишера при 5 %-ном уровне значимости подтвердила адекватность разработанной модели.

Анализ полученного уравнения показывает, что на толщину композиционного покрытия, сформированного методом ПГИ из легированных компонентами твердой смазки материалов на основе бронзы, наибольшее влияние оказывают факторы X_1 и X_3 , причем их влияние проявляется как индивидуально, так и во взаимодействии. Влияние фактора X_2 менее существенно. Из уравнения следует, что для увеличения толщины композиционного покрытия факторы X_1 и X_3 следует устанавливать на верхнем уровне, а фактор X_2 – на нижнем.

Для удобства интерпретации полученных результатов и использования модели для практических расчетов целесообразно перейти к натуральным значениям факторов:

$$h = -4,41 + 24,45N - 737,5(V_d/V_{щ}) - 0,09n + 0,72Nn - 11,4N^2.$$

Полученная математическая модель позволяет на стадии разработки технологического процесса определить режимные параметры метода ПГИ, обеспечивающие перенос материала покрытия на обрабатываемую поверхность и формирование композиционного покрытия требуемой толщины. В качестве примера на рис. 1, 2 приведены зависимости толщины покрытия h от исследуемых технологических параметров процесса плакирования, построенные с использованием разработанной модели.

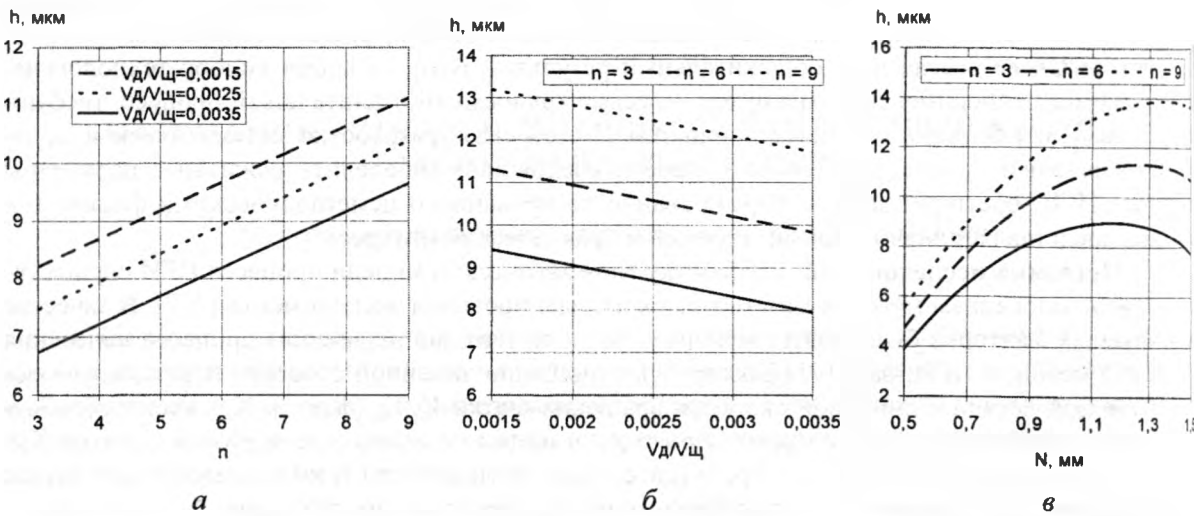


Рис. 1. Зависимость толщины h покрытия от числа проходов n при $N = 0,8$ мм (а), отношения линейной скорости перемещения обрабатываемой детали к линейной скорости вращения щетки $V_d/V_{щ}$

при $N = 1$ мм (б), натяга N при $V_d/V_{щ} = 0,0025$ (в)

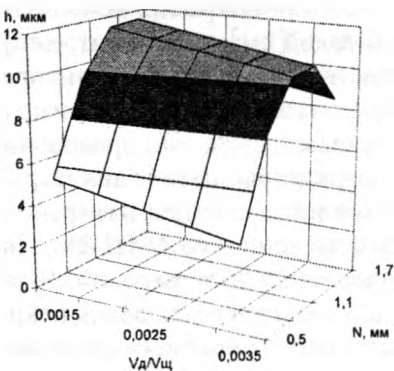


Рис. 2. Влияние одновременного воздействия факторов $V_d/V_{щ}$ и N на изменение толщины h композиционного покрытия при постоянном числе проходов n , равном 6

На основании анализа полученных зависимостей можно заключить, что в пределах установленных интервалов варьирования факторов увеличение натяга и времени обработки, а также уменьшение отношения $V_d/V_{щ}$ приводит к приращению толщины покрытия. Зависимость

толщины покрытия от величины натяга носит нелинейный характер: прирост толщины покрытия происходит до определенного уровня ($N = 1...1,3$ мм), дальше которого увеличение N не приводит к существенному росту покрытия. Причина в том, что при величине натяга, большей $1,1...1,3$ мм, происходит не столько перенос ворсом щетки материала покрытия на обрабатываемую поверхность, сколько, наоборот, снятие части ранее сформированного слоя вследствие развивающихся процессов микрорезания. Подобный эффект наблюдается и при чрезмерной длительности обработки: практика показывает, что увеличение числа проходов щетки по обрабатываемой поверхности более девяти не приводит к значительному приращению толщины покрытия, а может лишь ухудшить качество поверхностного слоя.

Назначая на основании разработанной модели технологические режимы формирования покрытия методом ПГИ, следует также принимать во внимание, что чрезмерное время обработки снижает производительность процесса нанесения покрытия, а увеличение натяга может вызвать преждевременный износ ворса металлической щетки.

С учетом вышеизложенного и руководствуясь полученной математической зависимостью, а также ее графической интерпретацией, были установлены рациональные режимные параметры процесса ПГИ, обеспечивающие нанесение композиционных покрытий из легированных медьсодержащих материалов: натяг $N = 0,8...1,0$ мм; число проходов $n = 5...6$; соотношение линейной скорости перемещения обрабатываемой детали и линейной скорости вращения щетки $V_d/V_{щ} = 0,0023...0,0027$. Использование установленных технологических параметров способствует формированию сплошного, прочно сцепленного с основой покрытия толщиной $10...12$ мкм, что достаточно для обеспечения антифрикционных и приработочных свойств сопряжения.

Для опытной проверки эффективности разработанной модели на направляющих скольжения станин металлорежущих станков, изготовленных из чугуна СЧ-20, в соответствии с рациональными режимами плакирования были сформированы композиционные покрытия из бронзы, легированной компонентами твердой смазки – графитом и дисульфидом молибдена. При этом конструктивные параметры используемой для переноса материала покрытия металлической щетки (диаметр и ширина щетки, диаметр и длина ворса, число ворсинок щетки) выбирали с учетом ранее установленных зависимостей [9]. Оценку работоспособности направляющих скольжения с композиционным покрытием выполняли на стенде, имитирующем условия работы направляющих скольжения при перемещении по ним ползуна с грузом. Испытания проводили на двух скоростях перемещения ползуна: 125 мм/мин и 190 мм/мин. Величину удельной нагрузки изменяли в диапазоне $0,01...0,1$ МПа. Результаты испытаний показали улучшение равномерности медленных перемещений ползуна по направляющим скольжения в 87 случаях из 100 , а также снижение коэффициента трения в среднем на $20...40$ % по сравнению с направляющими без покрытия [10]. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности использования разработанных подходов для установления технологических параметров процесса формирования композиционного покрытия методом плакирования гибким инструментом.

Заключение. Использование полученной математической модели позволяет на стадии разработки технологического процесса установить рациональные режимные параметры метода ПГИ, обеспечивающие перенос материала покрытия на обрабатываемую поверхность и формирование композиционного покрытия требуемой толщины, улучшение качественных характеристик сформированного слоя и повышение эксплуатационных свойств узлов трения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белевский, Л.С. Пластическое деформирование поверхностного слоя и формирование покрытия при нанесении гибким инструментом / Л.С. Белевский. - Магнитогорск: Изд-во Магнитогор. лица РАН, 1996. - 230 с.
2. Анцупов, В. П. Теория и практика плакирования изделий гибким инструментом / В.П. Анцупов. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 1999. – 241 с.
3. Леванцевич, М.А. Повышение эксплуатационных свойств трибосопряжений нанесением покрытий металлическими щетками / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко, В.Г. Зольников //

Вес. Нац. акад. наук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2005. – № 1. – С. 67-72. 4. Леванцевич М.А. Повышение износостойкости деталей машин деформационным плакированием гибким инструментом / М.А. Леванцевич, Н.Н. Максимченко // Современные методы проектирования машин: Респ. межведомств. сб. науч. тр. – Минск: Технопринт, 2004. – Вып. 2, Т. 4. – С. 192-197. 5. Батаев, А. А. Композиционные материалы. Строение, получение, применение: учеб. / А.А. Батаев, В.А. Батаев. – Новосибирск: НГТУ, 2002. – 383 с. 6. Новые ресурсосберегающие технологии и композиционные материалы / Ф.Г. Ловшенко [и др.]. – М.; Гомель: Энергоатомиздат БелГУТ, 2004. – 519 с. 7. Жарский, И.М. Планирование и организация эксперимента: учебное пособие для вузов / И.М. Жарский, Б.А. Коледин, И.Ф. Кузьмицкий. – Минск: БГТУ, 2003. – 178 с. 8. Инютин, В.И. Основы научных исследований: учеб.-метод. пособие / В.И. Инютин. – Гомель: БелГУТ, 2007. – 43 с. 9. Леванцевич, М.А. Выбор рациональных режимов плакирования направляющих скольжения металлорежущих станков / Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н., Лукашик А.А. // Механика машин, механизмов и материалов. – 2009. – № 2. – С. 80-82. 10. Исследование работоспособности направляющих скольжения с покрытием из порошковых материалов / Леванцевич М.А. [и др.] // Порошковая металлургия: Сб. науч. тр. / Ин-т порошковой металлургии НАН Беларуси. – Мн., 2008. – № 31. – С. 93-97.

УДК 621.793

Сокоров И.О., Спиридонов Н.В., Володько А.С., Пилецкая Л.И.

ОПТИМИЗАЦИЯ СОСТАВОВ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ НА ОПОРНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ТЯЖЕЛОНАГРУЖЕННЫХ ВАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

На начальном этапе исследований ставилась задача экспериментально изучить свойства газотермических покрытий из композиционных материалов, составленных исходя из поставленной цели исследований – обеспечить работоспособность покрытий в условиях высоких удельных нагрузок. Поэтому разрабатывались композиционные материалы на основе износостойких, антифрикционных и термореагирующих материалов. Выбор исходных порошковых материалов для создания композиций с целью последующего получения газотермических покрытий производился исходя из соответствия их следующим условиям:

- высокого уровня физико-механических свойств покрытий, обеспечивающих защиту от различных видов износа (абразивного, фреттинг-коррозии) и прочности сцепления, гарантирующей работоспособность деталей с покрытиями;
- минимальной себестоимости композиционного материала.

Первому условию соответствуют материалы на основе никеля, железа, медесодержащие (бронзы, баббиты). Повышенный уровень свойств в покрытии прогнозируется в случаях наличия в исходном материале значительного количества легирующих элементов, способствующих повышению износостойкости, стойкости к фреттинг-коррозии, антифрикционных свойств и прочности сцепления. Это характерно для самофлюсующихся материалов на основе никеля и железа, а также для бронз. Термореагирующие материалы за счет экзотермической реакции повышают температуру в зоне контакта напыляемого материала и основы, что способствует их проплавлению и повышению температуры в контакте «покрытие – основа», увеличивая тем самым прочность сцепления.

Второму условию удовлетворяют самофлюсующиеся сплавы на основе железа и материалы на основе меди. Кроме того, согласно [1] сопротивлением изнашиванию при фреттинг-коррозии обладают материалы на основе никеля, железа, алюминия, меди и содержащие карбиды хрома, титана, ванадия. Известна [2] композиция ПС-85Н70Х17С4Р4+15Ю10Н стойкая к износу и фреттинг-коррозии.

На технологичность порошковых материалов и на свойства покрытий влияет форма исходных частиц, а также особенности ее структуры и фазового состава. С точки зрения технологичности важным положительным фактором является сферичность частиц порошка. Максимально приближенная к сфере форма частиц обеспечивает их хорошую текучесть, равномерность расхода и прогрева и, как следствие, высокую производительность напыления, а также способствует получению покрытий с меньшей пористостью и более высокой прочностью сцепления.

В проводимых исследованиях, учитывая выше сказанное, целесообразным было признано изучить эффективность газотермического напыления композиционных покрытий на основе следующих материалов: самофлюсующихся материалов на основе железа, термореагирующих – NiAl и медьсодержащих. Для составления композиций и проведения исследований были выбраны следующие компоненты: ПР-НД42СР (ТУ 14-127-309-01); ПГ-19М-01 (ТУ 48-1206-156-82); ПТ-НА-01 (ТУУ-322-19-004-96); ПР-Х4Г2Р4С2Ф (ТУ 14-22-18-88).

Для исследований, с учетом получения прогнозируемых физико-механических свойств напыленных покрытий, были составлены композиции (таблица 1) из порошков, химический состав которых представлен в таблице 2. Важно определить применимость данных композиционных материалов для технологии газотермического напыления без последующего оплавления покрытий и при положительном результате найти соотношения компонентов смеси, обеспечивающих наибольшую прочность сцепления и износостойкость при минимальной себестоимости.

Таблица 1 – Предложенные композиции для газотермического напыления

№ композиции	Состав композиции
1	ПТ-НА-01 + ПГ-19М-01 + ПР-Х4Г2Р4С2Ф
2	ПР-НД42СР + ПР-Х4Г2Р4С2Ф + ПТ-НА-01
3	ПТ-ЮНХ16СР3 (1/2) + ПР-Х4Г2Р4С2Ф (1/2)

Таблица 2 – Химический состав порошков

Марка порошка	Химический состав
ПТ-НА-01	основа Ni; 4,0-5,5% Al
ПР-Х4Г2Р4С2Ф	основа Fe; 3,7% Cr; 2,2% Mn; 3,8% B; 2,5% Si; 0,8% V
ПГ-19М-01	основа Cu; 4% Fe; 8,5-10,5% Al
ПР-НД42СР	основа Ni – Cu; 42,5% Cu; 0,2% C; 0,9% Si; 1% B; до 3% Fe
ПТ-ЮНХ16СР2	основа Ni; 0,7% C; 16% Cr; 3,2% Si; 2,6% B; 1,2% Al

Для обоснования выбора составов композиций проводились экспресс-испытания на износостойкость (рис. 1), а также визуальный контроль полученных покрытий на отсутствие их отслоения от основы. Из графика видно, что износостойкость полученных покрытий превышает износостойкость стали 45 и сравнима с износостойкостью оплавленного покрытия из сплава ПГ-СР4, это свидетельствует о правильности выбора составов композиций. Для проведения дальнейших исследований были выбраны наиболее износостойкие композиции № 1 и 2, кроме того, на некоторых образцах наблюдалось отслоение покрытий, напыленных из композиции № 3, что не гарантирует работоспособность детали с таким покрытием [3].

U , ч/мкм

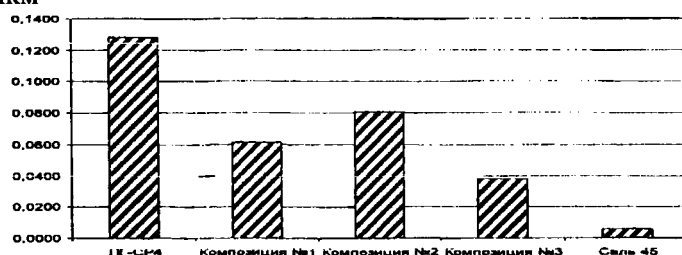


Рис. 1. Диаграмма износостойкости

Для выявления степени влияния компонентов композиции на прочность сцепления покрытия с основой и его износостойкость проводилось планирование эксперимента. При обработке результатов планирования эксперимента и получения зависимости функции отклика от входящих факторов применялась стандартная программа – Statistica 6.0.

Оптимизация состава композиции ПТ-НА-01 + ПГ-19М-01 + ПР-Х4Г2Р4С2Ф. В качестве независимых переменных факторов принято содержание порошков: ПТ-НА-01 (X_1); ПГ-19М-01 (X_2); ПР-Х4Г2Р4С2Ф (X_3). Параметром оптимизации являлась прочность сцепления покрытия с основой $\sigma_{сц}$ (Y_1), при обеспечении износостойкости U более 0,1 ч/мкм (Y_2).

В таблице 3 приведены уровни факторов и их кодированные значения, соответствующие симплекс-центроидному плану.

Таблица 3 – Уровни варьирования компонентов

Обозначения	Исследуемые факторы	Уровни факторов					
		0	1/6	1/3	1/2	2/3	1
X_1	ПТ-НА-01	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,4
X_2	ПГ-19М-01	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,6
X_3	ПР-Х4Г2Р4С2Ф	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,4

План эксперимента на основе матрицы планирования трехфакторного эксперимента на пяти уровнях включает 10 опытов.

После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, отражающие степень влияния состава композиции на прочность сцепления покрытия с основой и износостойкость:

$$Y_1 = 44,1205X_1 + 46,0205X_2 + 40,386X_3 + 29,013X_1X_3 + 27,213X_2X_3 + 200,2235X_1X_2X_3;$$

$$Y_2 = 0,0538X_1 + 0,1101X_2 + 0,0849X_3 + 0,1511X_1X_3 + 0,186X_2X_3.$$

Графические изображения уравнений регрессии на плоскости и в объеме для выбранных функций отклика – прочность сцепления и износостойкость – приведены на рисунках 2–3.

Оптимальные соотношения при напылении композиции № 1: $X_1=0,309$; $X_2=0,32$; $X_3=0,364$.

Расчетное значение прочности сцепления при данном соотношении компонентов и при износостойкости U более 0,1 ч/мкм равно 57,25 МПа.

Установлено, что все модели адекватны при 5 %-ом уровне значимости по критерию Фишера.

Оптимизация состава композиции ПР-НД42СР + ПР-Х4Г2Р4С2Ф + ПТ-НА-01. В качестве независимых переменных факторов принято содержание порошков: ПТ-НА-01 (X_1); ПР-Х4Г2Р4С2Ф (X_2); ПР-НД42СР (X_3). Параметром оптимизации являлась прочность сцепления покрытия с основой $\sigma_{сц}$ (Y_1), при обеспечении износостойкости U более 0,1 ч/мкм (Y_2).

В таблице 4 приведены уровни факторов и их кодированные значения, соответствующие симплекс-центроидному плану.

Таблица 4 – Уровни варьирования компонентов композиции

Обозначения	Исследуемые факторы	Уровни факторов					
		0	1/6	1/3	1/2	2/3	1
X_1	ПТ-НА-01	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,4
X_2	ПР-Х4Г2Р4С2Ф	0,4	0,43	0,47	0,5	0,53	0,6
X_3	ПР-НД42СР	0,2	0,23	0,27	0,3	0,33	0,4

После обработки экспериментальных данных получены уравнения регрессии, отражающие степень влияния состава композиции на прочность сцепления покрытия с основой и износостойкость:

$$Y_1 = 51,7617X_1 + 52,8099X_2 + 44,989X_3 + 29,7414X_1X_3 + 29,7578X_2X_3 + 152,3753X_1X_2X_3;$$

$$Y_2 = 0,0877X_1 + 0,1308X_2 + 0,0987X_3 + 0,1741X_1 X_3 + 0,1644X_2 X_3.$$

Оптимальные соотношения при напылении композиции № 2: $X_1=0,189$; $X_2=0,414$; $X_3=0,397$.

Расчетное значение прочности сцепления при данном соотношении компонентов и при износостойкости U более $0,15$ ч/мкм равно $61,37$ МПа.

Установлено, что все модели адекватны при 5%-ом уровне значимости по критерию Фишера.

Графические изображения уравнений регрессии на плоскости и в объеме для выбранных функций отклика – прочность сцепления и износостойкость – приведены на рисунках 4 – 5.

Fitted Surface; Variable: Износостойкость(Y2)
DV: Износостойкость(Y2); R-sqr=.9678; Adj .9035
Model: Special Cubic

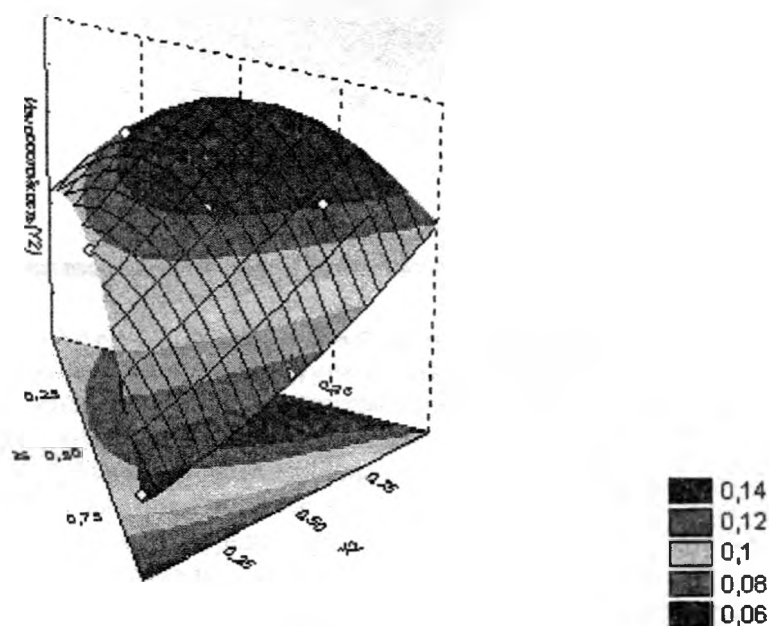


Рис. 2. График зависимости прочности сцепления покрытия с основой от состава композиции № 1

Fitted Surface; Variable: Прочность сцепления (Y1)
 DV: Прочность сцепления (Y1); R-sqr=.9584; Adj.8751
 Model: Special Cubic

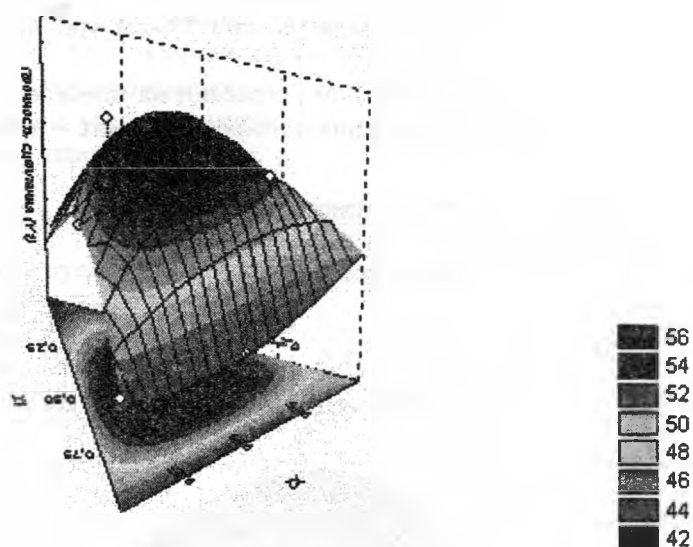


Рис. 3. График зависимости износостойкости покрытий от состава композиции № 1

Fitted Surface; Variable: Прочность сцепления (Y1)
 DV: Прочность сцепления (Y1); R-sqr=.9678; Adj.9033
 Model: Special Cubic

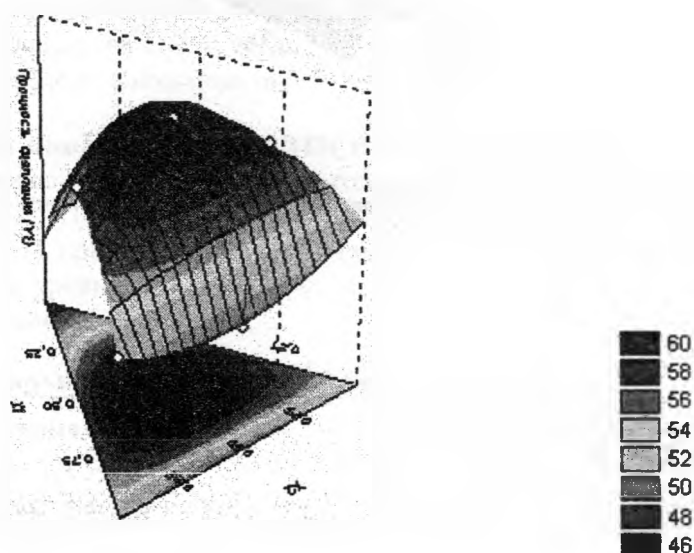


Рис. 4. График зависимости прочности сцепления покрытия с основой от состава композиции № 2

Fitted Surface; Variable: Износостойкость(Y2)
 DV: Износостойкость(Y2); R-sqr=,9761; Adj: ,9284
 Model: Special Cubic

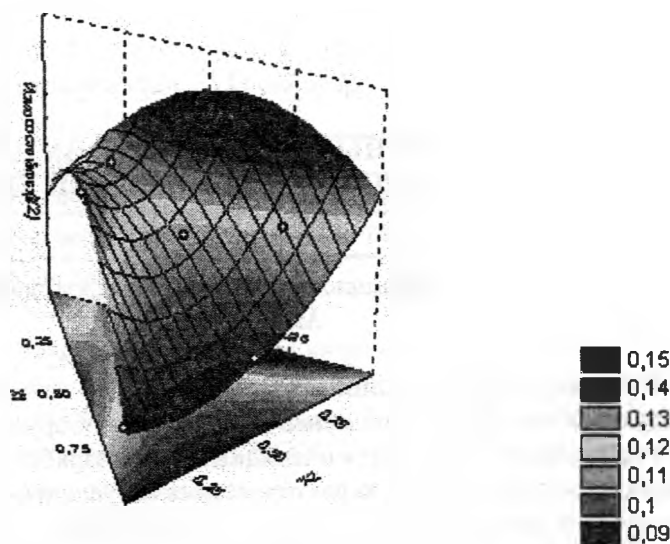


Рис. 5. График зависимости износостойкости покрытий от состава композиции № 2

Из анализа полученных математических моделей и графиков влияния состава композиций на свойства покрытий можно сделать вывод, что на прочность сцепления покрытия из композиции № 1 наиболее положительное влияние оказывают компонент на основе меди и термореагирующий компонент, что обусловлено легкоплавкостью первого и экзотермического эффекта второго. На износостойкость наибольшее влияние оказывают компоненты на основе меди и железа, а также их взаимное влияние, что обусловлено образованием структуры покрытия с пластичной матрицей, обладающей антифрикционными свойствами, с твердыми включениями в виде частиц легированного порошка на основе железа. В состав композиции № 2 присутствуют два термореагирующих компонента, основу одного из них составляет никель-медная матрица, образующая вместе с компонентом на основе железа структуру покрытия соответствующую правилу Шарпи, кроме того, этим можно объяснить более высокую прочность сцепления покрытия из композиции № 2.

В результате проведенных экспериментальных исследований определены оптимальные составы композиций для упрочнения валов бумагоделательного оборудования: композиция № 1: 30,9%ПТ-НА-01 + 32,7%ПР-Х4Г2Р4С2Ф + +36,4%ПР-НД42СР; композиция № 2: 18,9%ПТ-НА-01+41,4%ПГ-19М-01 + +39,7%ПР-Х4Г2Р4С2Ф [4].

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 28377-89 «Порошки для газотермического напыления и наплавки. Типы». — Введ. 01.01.91.
2. Лабораторные работы по дисциплине «Основы повышения эксплуатационных свойств поверхностей» для студентов специальности 1-36 01 04 «Оборудование и технология высокоэффективных процессов обработки материалов: в 2-х частях. / Н.В.Спиридонов, С.Э. Крайко, А.С. Володько. — Минск: БНТУ, 2003. — Ч.1 — 90 с.
3. Коробейников, В.В. Исследование износостойкости оплавленных и неоплавленных газотермических покрытий из композиций на основе самофлюсующихся материалов / В.В. Коробейников, И.О. Соков, А.С. Володько // Машиностроение: Республиканский межведомственный сборник научных трудов / под ред. Б.М. Хрусталева. — Минск, 2007. — Вып. 23. — С. 95 — 100.
4. Спиридонов, Н.В. Исследование и

разработка износостойких композиционных материалов для упрочнения крупногабаритных высоконагруженных валов бумагоделательных машин / Н.В. Спиридонов, И.О. Соков, Л.И. Пилецкая, А.С. Володько // Сборник научных трудов 6 международной научно-технической конференции «Материалы, технологии и оборудование в производстве, эксплуатации, ремонте и модернизации машин», 24 – 26 апреля 2007 г.: в 3 т. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 70 – 73.

УДК 621.793

Девоино О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К., Луцко Н.И.

ФОРМИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ ОКСИДНОЙ КЕРАМИКИ, МОДИФИЦИРОВАННОЙ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Эффективность работы машин и оборудования во многом определяются эксплуатационными затратами. Учитывая, что не менее 50 % отказов оборудования, происходит по причине преждевременного износа, становится очевидным, что разработки материалов с высокими триботехническими характеристиками являются весьма актуальными.

Таким образом, разрабатываемая технология позволяет на базе стандартного оксида алюминия получать недорогие керамические покрытия, имеющие высокие физико-механические и эксплуатационные характеристики. Кроме того, предлагаемая технология позволяет полностью реализовать весь ресурс свойств, заложенный в данном составе исходного материала.

Проведенные исследования показали, что оксид алюминия обладает высокой твердостью, износостойкостью, доступностью и дешевизной. Недостатком покрытий из оксида алюминия является хрупкость и низкая адгезия покрытия. Целью работы является повышение эксплуатационных свойств керамических оксидных покрытий химико-термической обработкой исходных материалов.

После анализа имеющихся литературных данных, объектом исследования были выбраны плазменные покрытия из оксида алюминия, диффузионно-легированного молибденом и бором. Молибден и бор были выбраны в качестве пластичной фазы с хорошими фрикционными свойствами.

Технология получения диффузионно-легированного порошка включает в себя следующие стадии:

1. сушка и рассев исходных материалов;
2. смешивание материалов в определенном соотношении;
3. герметизация и размещение контейнера с порошками в лабораторной установке;
4. изотермическая выдержка в печи с вращением контейнера (50 - 100 мин-1, 900 - 960°C, 2...3 часа).

На следующем этапе были проведены экспериментальные работы по нанесению покрытий из диффузионно-легированного оксида алюминия плазменным напылением. На подложку из стали 45 были нанесены покрытия из чистого оксида алюминия и легированного молибденом и бором.

Составы напыляемых покрытий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Составы напыляемых покрытий

Обозначение состава	состав порошковой смеси, %		
	Al ₂ O ₃	Mo	B
Al ₂ O ₃	100	-	-
Al ₂ O ₃ + Mo (2%)	98	2	-
Al ₂ O ₃ + Mo (4%)	96	4	-
Al ₂ O ₃ + B	95	-	5

Проведенное математическое моделирование процесса плазменного напыления легированных покрытий позволило подобрать оптимальные режимы напыления. Критерием выбора режимов напыления являлась адгезия покрытия. В качестве оптимальных были выбраны режимы, обеспечивающие получение наибольшей прочности сцепления покрытия с основой. Наиболее оптимальными режимами напыления для керамических покрытий являются режимы, приведенные в таблице 2.

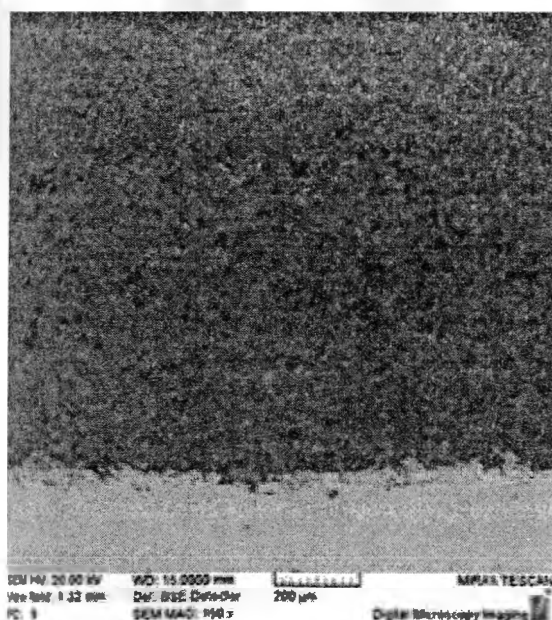
Таблица 2 – Оптимальные режимы напыления

Напряжение дуги, В	80
Сила тока, А	420
Дистанция напыления, мм	90
Расход плазмообразующего газа, м ³ /ч	3,0
Плазмообразующий газ	азот

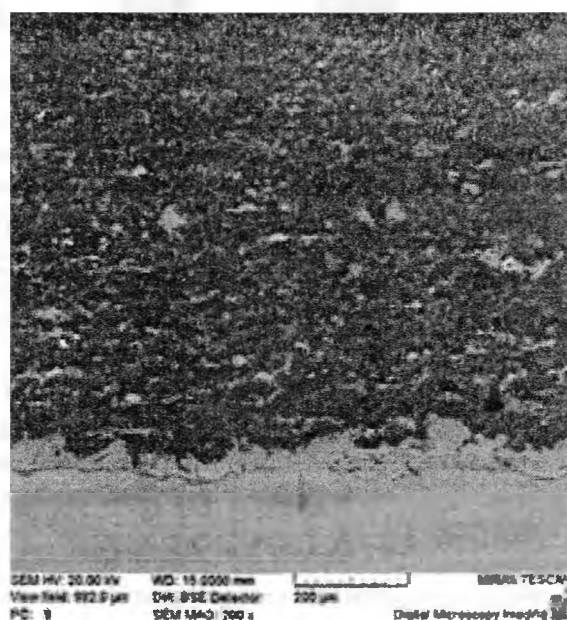
Технологический процесс нанесения покрытия включает в себя следующие стадии:

- подготовка поверхности для нанесения покрытия дробеструйной обработкой: давление воздуха 0,5 МПа, диаметр сопла 8 мм, дистанция 30 мм, использовалась чугунная колотая дробь ДЧК-1,5 ГОСТ 11964-81 со средним размером 1,5 мм
- напыление покрытия: для плазменного напыления керамических покрытий использовалась установка УПУ-3Д с плазмотроном ПП-25. В качестве плазмообразующего и транспортирующего газа применялся азот. Расход газа – 3 м³/ч. Режимы напыления приведены в таблице 3.
- контроль качества покрытий

Таким образом, была получена серия образцов для дальнейших металлографических и дюрOMETрических исследований, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализа. На рис. 1 представлена структура напыленных покрытий.



(a)



(б)

*Рис. 1. Микроструктура покрытия из оксида алюминия:
а – легированного бором; б – легированного молибденом*

Получены средние значения адгезии покрытий с основой для оптимальных значений режимов напыления, данные приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Величина адгезии покрытий с основой

Состав покрытия	Величина адгезии, МПа
Al_2O_3	10,95
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mo}$ (2%)	25,9
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mo}$ (4%)	26,1
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}$	25,5

Предварительную оценку работоспособности покрытий, включающую их испытания на износостойкость, проводили на установке торцевого трения, изготовленной на базе сверлильного станка.

Величина износа определялась глубиной лунки с помощью профилографа-профилометра модели 252. За величину износа на данном образце принималось среднее значение пяти замеров по периметру протертой канавки. Шероховатость исследовалась с помощью того же прибора, что и величина износа, - профилографа-профилометра модели 252.

Сравнение износостойкости исследуемых керамических покрытий при $V = 1,2$ м/с и различных нагрузках в условиях трения без смазочного материала и со смазкой показано на диаграммах (рис. 2, 3).

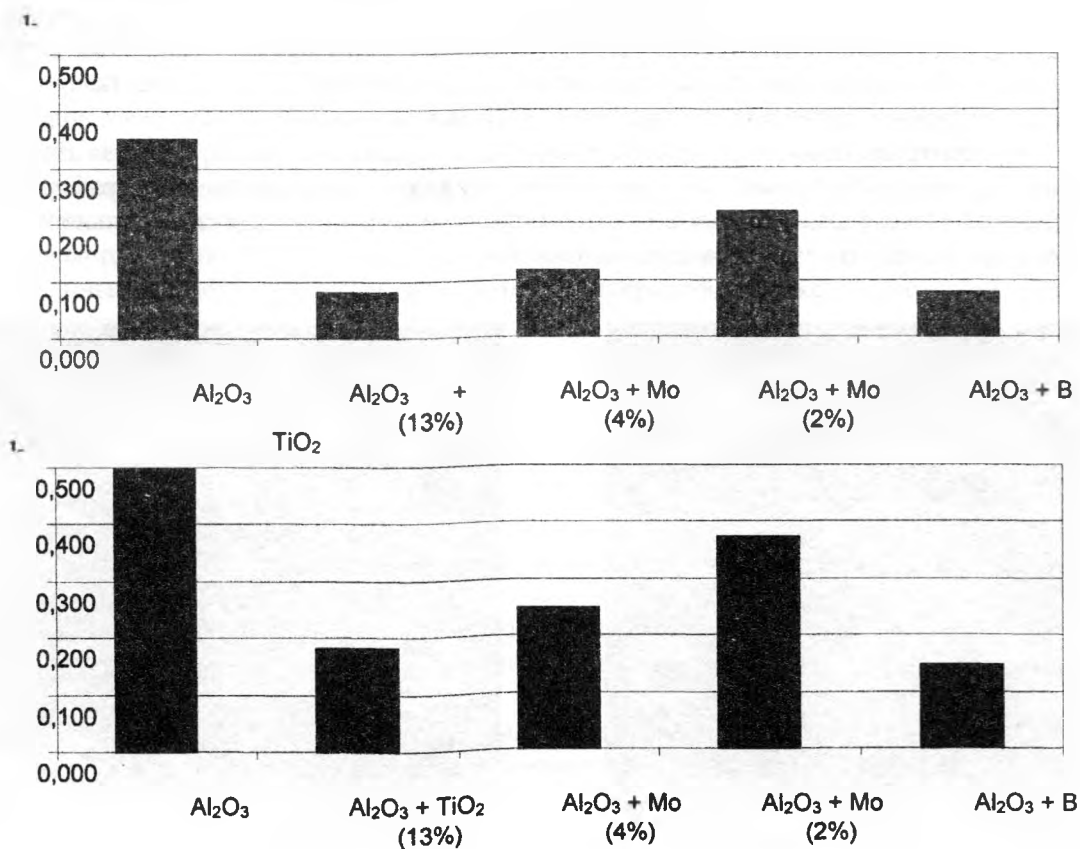
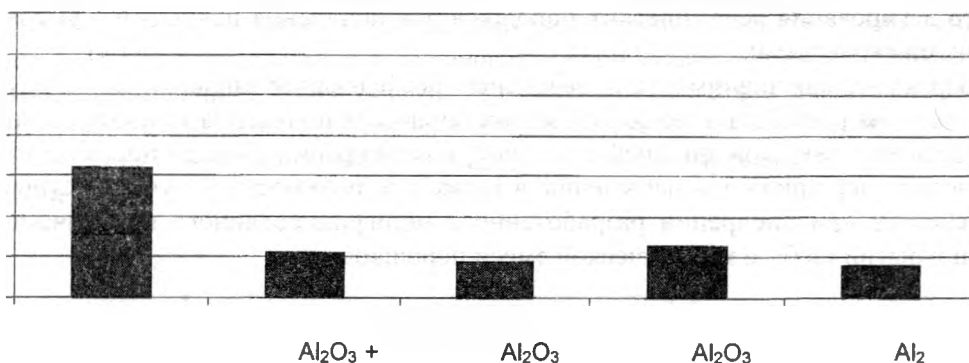


Рис. 2. Диаграммы сравнительной износостойкости, трение без смазочного материала:
а – нагрузка 80 Н, время 60 с; б – нагрузка 20 Н, время 300 с.

h, мм



h, мм

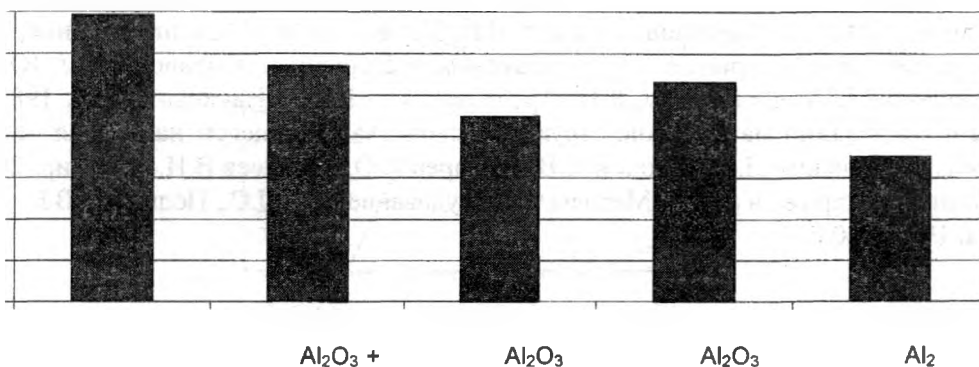


Рис. 3. Диаграммы сравнительной износостойкости, трение со смазочным материалом:
а – нагрузка 80 Н, время 60 с; б – нагрузка 20 Н, время 300 с.

Полученные результаты испытаний износостойкости указывают на высокие физико-механические свойства плазменных покрытий из порошка оксида алюминия, легированного бором ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{B}$) и молибденом с содержанием легирующего элемента 4% ($\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Mo}$ 4%).

Большая износостойкость этих покрытий объясняется повышением пластичности покрытий при незначительном уменьшении микротвердости. Это проявляется при интенсификации изнашивания за счет увеличения относительной скорости скольжения.

Покрытия из модифицированной керамики обладают меньшей пористостью по сравнению с покрытием из чистой окиси алюминия и имеют более высокую адгезию. Введение молибдена и бора значительно повысило адгезию покрытия с основой в 2 – 2,5 раза (25-26 МПа), (таблица 3). Пористость покрытий снизилась в 2-2,4 раза.

Кроме того, рентгеноструктурный анализ показал изменение фазового состава керамических покрытий, полученных из модифицированного диффузионным отжигом порошка.

Все композиции характеризуются более высоким содержанием α -фазы Al_2O_3 – высокотемпературной модификации. Эксплуатационные характеристики оксидного покрытия Al_2O_3 связаны с фазовым составом. Увеличение содержания α - Al_2O_3 значительно повышает износостойкость покрытия. Молибден в легированном покрытии содержится в чистом виде и в виде оксида молибдена MoO_3 . Данная фаза образуется в незначительном количестве в результате поверхностного окисления молибдена при прохождении частиц через плазменную струю. В легированном бором покрытии выявлены бориды алюминия (AlB_{12}).

Вывод: Введение легирующих элементов оказало положительное влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики керамического покрытия. Значительно снизилась хрупкость и увеличилась адгезия покрытия с основой в 2-2,5 раза. Большая износостойкость этих покрытий объясняется повышением пластичности покрытий при незначительном уменьшении микротвердости, а также изменением фазового состава. Это проявляется при интенсификации изнашивания за счет увеличения относительной скорости скольжения.

Представленные результаты показывают перспективность применения метода диффузионного легирования керамических порошков для получения покрытий с высокими эксплуатационными свойствами.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в получении исходных данных для разработки технологических процессов получения композиционных керамических покрытий с высокой адгезией с основой, в расширении области применения стандартных керамических порошков для напыления, а также в возможности получения существенной экономии средств при внедрении разработанного модифицированного керамического покрытия взамен покрытий на базе механической смеси порошков.

ЛИТЕРАТУРА

1. Восстановление деталей машин: Справочник / Ф.И. Пантелеенко, В. П. Лялякин, В.П. Иванов, В.М. Константинов; Под ред. В.П. Иванова. - М.: Машиностроение, 2003. - 672 с.
2. Газотермические покрытия из порошковых материалов. Справочник / Ю.С. Борисов, Ю.А. Харламов, С.А. Сидоренко, Е.Н. Ардатовская. – Киев.: Наукова думка, 1987. – 544 с.
3. Методы исследований материалов: структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий./ Тушинский Л.И., Плохов А.В., Токарев А.О., Синдеев В.И.-М.: Мир, 2004-384 с.
4. Испытания на терние и износ. Методы и оборудование. Ясь Д.С., Подмоков В.Б., Дяденко Н.С. Техника, 1971, 140 с.

УДК621.793.1

Фролов И.С., Иващенко С.А., Мрочек Ж.А.

ФОРМИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЯХ НА ДЕТАЛЯХ ИЗ НЕМАГНИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Напряжения, возникающие при напылении тонкопленочных покрытий, оказывают существенное влияние на эксплуатационные свойства системы основа-покрытие. В ряде случаев внутренние напряжения могут привести к растрескиванию и отслаиванию покрытий, ухудшению их антифрикционных, коррозионных, декоративных и некоторых других свойств. В то же время многочисленными исследованиями показано, что внутренние напряжения можно использовать как дополнительный резерв повышения надежности и долговечности изделий и конструкций.

Вакуумно-плазменные покрытия, получаемые методом КИБ (конденсация вещества с ионной бомбардировкой), в силу ряда факторов (значительные микроискажения кристаллической решетки, морфологическая неоднородность покрытия, значительный приток тепла на основу в процессе осаждения покрытий и т.д.) характеризуются высокими внутренними напряжениями. Отсюда вытекает необходимость изучения процесса формирования напряжений в системе основа-покрытие, что, в конечном счете, даст возможность регулировать величину и знак внутренних напряжений.

Для решения данной задачи были разработаны методика и устройство для ее реализации [1]. Принцип исследования напряженно-деформированного состояния системы основа-покрытие основан на регистрации изменения радиуса кривизны плоского образца, закрепленного консольно. Радиус кривизны образца, а, следовательно, и напряжения, возникающие при нанесении покрытия, определяются по отклонению свободного конца образца, которое фиксируется лучом лазера.

Устройство (рис. 1) работает следующим образом. Образец 2 (тонколистовая пластина, закрепленный в держателе, помещают в вакуумную камеру 3 так, чтобы поток частиц наноси-

мого материала покрытия из испарителя 4 через защитный экран 5 с прорезью попадал на его поверхность. Экран служит для защиты противоположной стороны образца от запыления. Луч 1 лазера 10 типа ЛГН-105, закрепленного в специальном кронштейне 9, через смотровое окно 7 направляется на незакрепленный конец образца. Отраженный луч 6 фиксируется на шкале 8, установленной на смотровом окне. Градуировка шкалы производится по углу изгиба образца. По величине этого угла затем рассчитывается радиус кривизны образца и остаточные напряжения в покрытии.

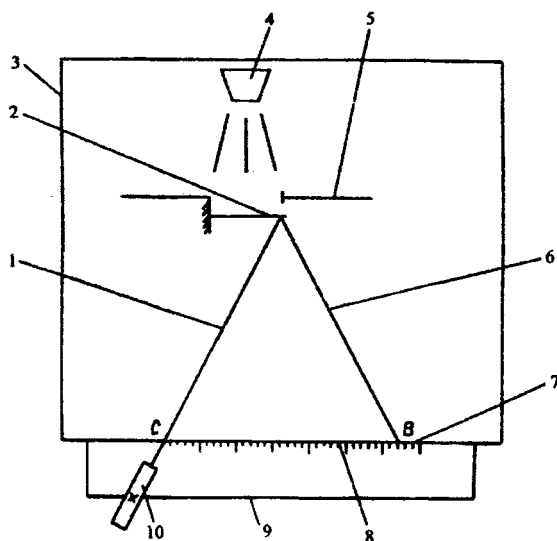


Рис. 1. Схема устройства для исследования напряженно-деформированного состояния образцов с покрытием: 1, 6 – падающий и отраженный от образца лучи лазера; 2 – образец; 3 – вакуумная камера; 4 – электродуговой испаритель; 5 – защитный экран; 7 – смотровое окно; 8 – измерительная шкала; 9 – кронштейн; 10 – лазер

Для получения временной развертки угла изгиба образца используется самописец типа Н-302 со скоростью движения ленты 1 см/мин, на которую переносятся показания, снимаемые со шкалы устройства в процессе эксперимента.

Были проведены исследования процесса формирования внутренних напряжений в вакуумно-плазменных покрытиях из нитрида титана и углеродной алмазоподобной пленки (УАП), полученных методом КИБ. Исследования проводились как на стадии подготовки основы под напыление (ионная бомбардировка), так и на стадии конденсации покрытия. Толщина наносимых покрытий составляла 1...5 мкм.

Формирование покрытий осуществлялось на установке УРМЗ.279.048, оснащенной импульсным генератором углеродной плазмы. Для исследований использовались образцы из аустенитной стали 12Х18Н10Т и алюминиевого сплава Д16, отожженные в вакууме. Соотношение длины и ширины образцов равнялось 10:1, толщина образцов изменялась от 0,3 до 1 мм. Один конец образца на длине 5...7 мм полировался для обеспечения высокой отражательной способности. Непосредственно перед вакуумированием образцы подвергались ультразвуковой мойке, обезжириванию и сушке.

На стадии подготовки поверхности основы под напыление при бомбардировке ее ионами титана в поверхностном слое были зафиксированы растягивающие напряжения (рис. 2). По мере увеличения длительности бомбардировки наблюдается рост величины напряжений в поверхностном слое и одновременно сильный поверхностный разогрев образцов. Для образцов небольшой толщины разогрев приводит к потере прочностных свойств и катастрофической деформации.

При обработке поверхности основы ионами инертных газов (аргон, гелий и др.) изменений напряженного состояния поверхностного слоя образцов не зафиксировано. Очевидно, энергия ионов инертных газов недостаточна для образования в поверхностном слое образцов сколько-нибудь заметных напряжений.

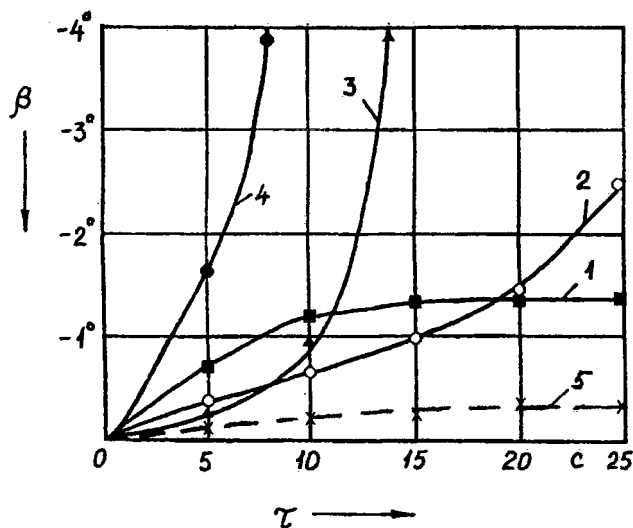


Рис. 2. Зависимость величины деформации образцов от времени бомбардировки ионами титана: 1, 2, 3, 4, – образцы из сплава Д16 толщиной 1,0; 0,8; 0,5; и 0,3 мм соответственно; 5 – образец из стали 12Х18Н10Т толщиной 0,7 мм

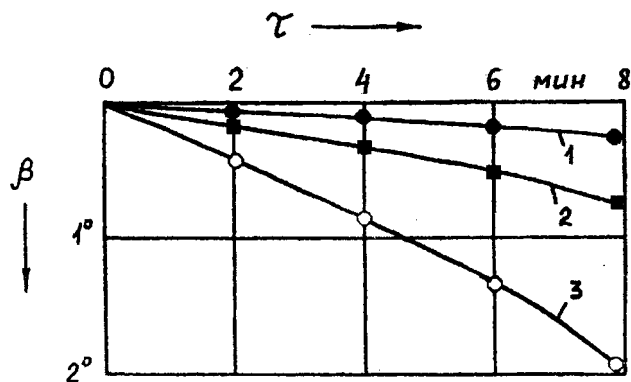


Рис. 3. Зависимость величины деформации образцов из сплава Д16 от времени при нанесении подслоя титана: 1, 2, 3 – толщина образца соответственно 0,8; 0,5; 0,3 мм

В ряде случаев перед нанесением тонкопленочного покрытия из нитрида титана или УАПП на основу наносят подслоя более мягкого материала, например, титана. Поэтому отдельно проводились исследования влияния этого фактора на изменение напряженного состояния поверхностного слоя образцов. Нанесение подслоя титана на алюминиевую основу (рис. 3) приводит к образованию в поверхностном слое образцов сжимающих напряжений. Сжимающие напряжения возникают вследствие значительного различия коэффициентов термического расширения материалов основы и покрытия, малой жесткости и теплоустойчивости материала основы, а также за счет образования в поверхностном слое образцов интерметаллических соединений алюминия с титаном.

При нанесении подслоя титана на образцы из стали 12Х18Н10Т изменения уровня внутренних напряжений не зафиксировано, что объясняется большей жесткостью стальной основы. При этом релаксация напряжений, очевидно, происходит за счет пластического течения материала подслоя относительно поверхности основы.

Динамика изменения деформации плоских образцов при нанесении тонкопленочных упрочняющих покрытий приведена на рис. 4. При конденсации покрытий из нитрида титана и УАПП в поверхностном слое образцов формируются сжимающие напряжения, величина которых возрастает с увеличением продолжительности процесса напыления, т.е. с ростом толщины

покрытия. Следует отметить, что величина напряжений, образующихся при конденсации покрытия из УАПП, значительно превосходит напряжения, возникающие при конденсации покрытий из нитрида титана. По-видимому, это связано с относительной пластичностью покрытий из нитрида титана, что в большей степени обеспечивает протекание релаксационных процессов при формировании покрытий.

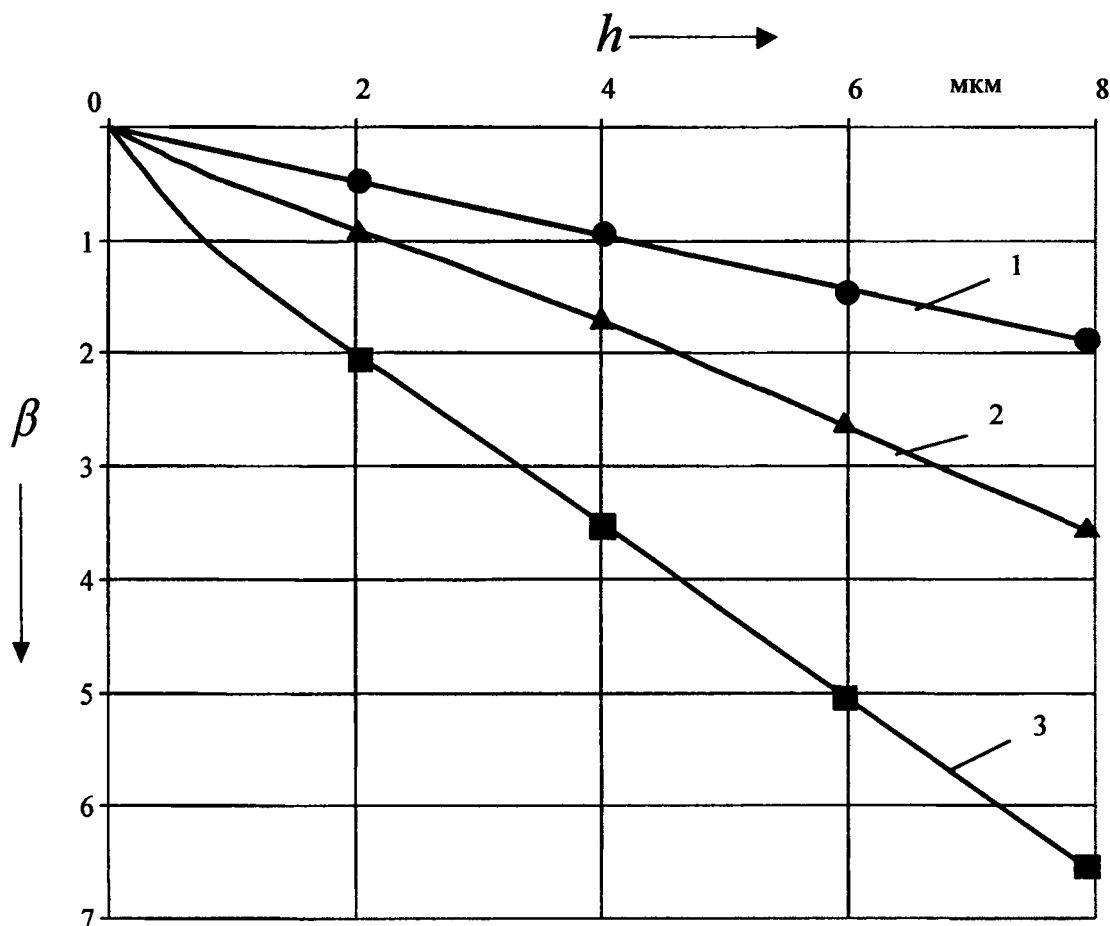


Рис. 4. Зависимость величины деформации образцов от толщины покрытия:
 1 – нитрид титана на стали 12Х18Н10Т; 2 – нитрид титана на сплаве Д16;
 3 – углеродная алмазоподобная пленка на сплаве Д16

Результаты измерений деформации образцов, приведенные на рис. 4, объясняют различную адгезионную прочность покрытий из нитрида титана и УАПП большими напряжениями, возникающими при нанесении последней, а также указывают на основную причину, по которой на практике весьма трудно получить качественное покрытие из УАПП толщиной более 5 мкм.

Уменьшение величины остаточных напряжений в вакуумно-плазменных покрытиях может быть достигнуто двумя путями: использованием эффекта компенсации напряжений, вызываемых различными факторами, например, ионной бомбардировкой и осаждением покрытия или проведением мероприятий, обеспечивающих релаксацию напряжений, возникающих в процессе получения покрытия. Одним из таких мероприятий, как указывалось выше, является нанесение между основой и покрытием подслоя более мягкого и вязкого материала (титана). Поэтому были проведены исследования влияния толщины подслоя титана на величину остаточных напряжений в покрытии TiN. Результаты экспериментов приведены на рис. 5. Анализ результатов показывает, что при толщине подслоя титана до 15% от суммарной толщины покрытия (зависимости 2 и 3) наблюдается значительное (в 1,3...1,6 раза) снижение остаточных напряжений, а при толщине подслоя в 30% (зависимость 4) они уменьшаются в 2,1 раза. Одна-

ко такие большие толщины подслоев не применяются на практике из-за резкого ухудшения эксплуатационных свойств деталей вследствие продавливания и разрушения покрытия даже при небольших нагрузках в паре трения. Снижение уровня остаточных напряжений в данном случае можно объяснить высокой пластичностью титана [2], в котором релаксируется большая часть напряжений покрытия TiN.

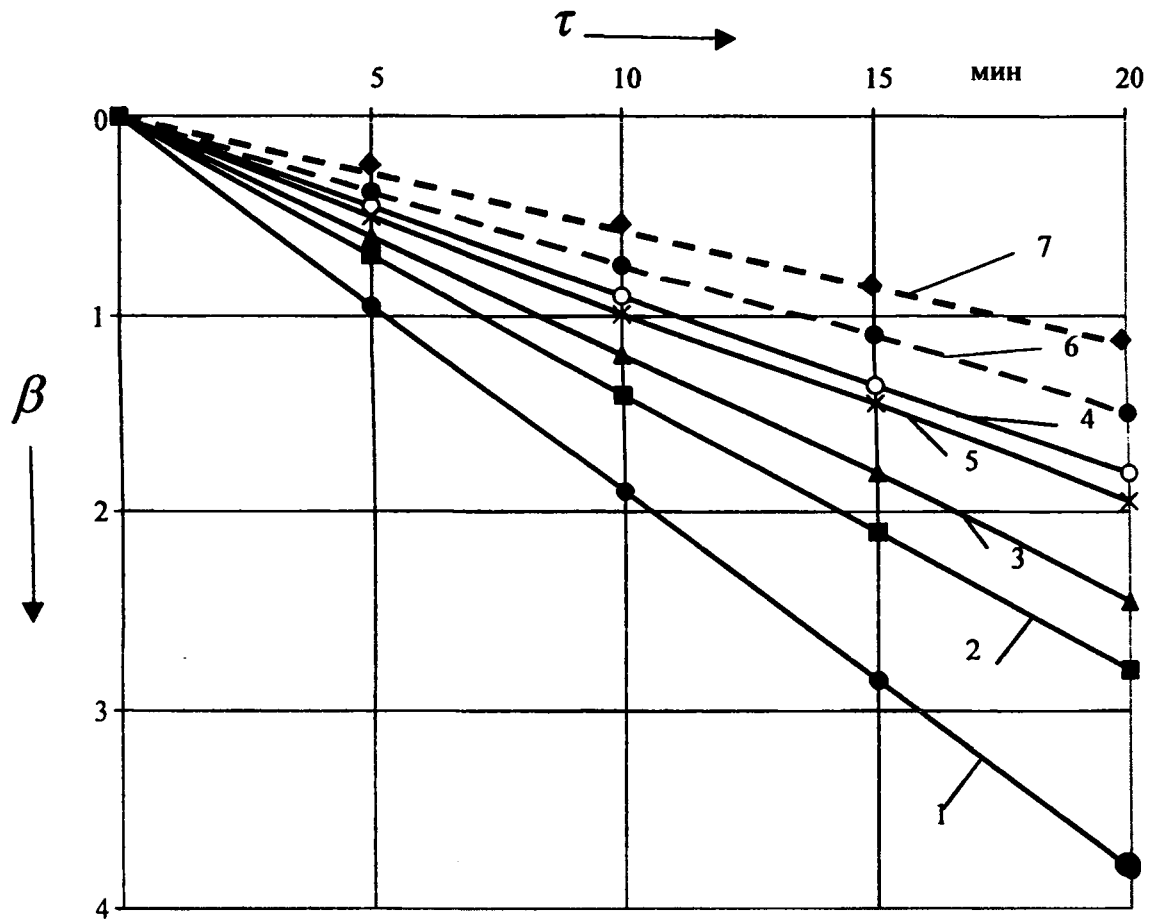


Рис. 5. Зависимость величины деформации образцов из стали 12Х18Н10Т от времени нанесения покрытия: 1 – покрытие TiN без подслоя; 2, 3, 4 – покрытие TiN при толщине подслоя Ti 0,05; 0,15 и 0,3 суммарной толщины покрытия соответственно; 5 – покрытие TiN с подслоем Ti и переходным слоем α-Ti + TiN толщиной 1,5 мкм; 6, 7 – мультислойное полосчатое покрытие Si-TiN при площади полос Si 0,05 и 0,15 площади покрытия соответственно

Дополнительное снижение напряжений можно обеспечить нанесением между подслоем и рабочим слоем покрытия переходного слоя, представляющего собой смесь твердого раствора α-Ti и нитрида титана. Переходный слой получается путем плавного увеличения давления реакционного газа в рабочей камере в течение определенного промежутка времени (2...3 мин) до величины, соответствующей осаждению рабочего слоя покрытия. Такой слой особенно необходим для немагнитных материалов, имеющих большой коэффициент термического расширения по сравнению с материалом покрытия. Проведенные эксперименты по напылению переходного слоя толщиной 1,2...1,5 мкм показали (рис. 5, зависимость 5), что такой слой обеспечивает дополнительное снижение напряжений на 20...45% по сравнению с покрытием, имеющим подслой титана оптимальной толщины, при полном сохранении работоспособности покрытия.

Еще более высокие результаты дает метод разделения температурных потоков. Суть его заключается в разделении плоской основы с покрытием на большое количество изолированных друг от друга участков. В качестве температурных барьеров, которые делят покрытие на отдельные участки, используются полосы из материала, имеющего отличные от покрытия физ-

ко-механические свойства. Практической реализацией этого метода являются полосчатые покрытия. Как видно из рис. 5 (зависимости 6 и 7) мультислойные полосчатые покрытия Cu-TiN, нанесенные методом масок, обеспечивают снижение уровня внутренних напряжений в 2,8...3,5 раза по сравнению с монослойным покрытием TiN и в 1,7...2,6 раза по сравнению с аналогичным покрытием, имеющим подслоя титана оптимальной толщины.

Приведенные результаты исследований напряжений дают лишь качественную оценку процессов, происходящих при нанесении упрочняющих тонкопленочных покрытий. Для количественной оценки напряжений, возникающих в поверхностном слое образца с покрытием, была использована зависимость Бреннера-Сендерофа [3], позволяющая определить величину напряжений в системе основа-покрытие в каждый момент времени формирования покрытия по изменению радиуса кривизны образца:

$$\sigma = \frac{E_2 h_2}{6 R h_1} \left[h_2 + \left(\frac{E_1}{E_2} \right)^{5/4} h_1 \right],$$

где E_1 и E_2 — модули упругости материалов покрытия и подложки соответственно;

h_1 — толщина покрытия;

h_2 — толщина подложки;

R — радиус кривизны образца.

В результате расчетов установлено, что максимальная величина напряжений поверхностного слоя образцов с покрытием из нитрида титана составляет от 600 МПа на алюминиевой основе до 900 МПа на стальной основе, а с покрытием из УАПП превышает 900 МПа. Такие величины остаточных напряжений в вакуумно-плазменных покрытиях согласуются с данными других исследователей. В частности авторы работы [4] определили, что величина остаточных напряжений в покрытиях из нитрида титана достигает 650...700 МПа.

В тонкопленочных покрытиях остаточные напряжения определяются как термическими, так и структурными факторами [5]. Можно предположить, что основную роль в образовании остаточных напряжений играет структурный механизм. При росте конденсат пресыщается различными дефектами кристаллического строения (дислокациями, внедренными или замещенными атомами примесей, избыточными вакансиями и т.п.), в нем существуют и микропоры. После установления прочного сцепления его с основным металлом процесс залечивания этих несовершенств (аннигиляция и уход дислокаций, сток вакансий в микропоры, их коалесценция, зарастание микропор) сопровождается изменением объема конденсата, что приводит к возникновению внутренних напряжений.

Тот факт, что в вакуумно-плазменных конденсатах структурные напряжения после конденсации носят сжимающий характер, указывает, что вызывающие их субструктурные изменения сопровождаются увеличением удельного объема конденсата. Наибольшее изменение объема наблюдается вследствие ухода вакансий к стокам. Энергия вакансий на несколько порядков больше энергии возникших упругих напряжений [5], поэтому уход вакансий и возникновение вследствие этого напряжений энергетически выгодно. Процессы, приводящие к увеличению удельного объема конденсата и формированию сжимающих напряжений, могут быть обусловлены также коалесценцией вакансий в «каверны» и микропоры, так как объем поры равен сумме объемов атомов, ушедших из нее, а объем такого же числа отдельных вакансий примерно вдвое меньше [5].

Полученные результаты исследований позволяют сделать следующие выводы:

- в вакуумно-плазменных электродуговых покрытиях имеют место достаточно большие по величине остаточные внутренние напряжения, соизмеримые с пределом прочности для компактных материалов;
- в процессе ионной бомбардировки подложки формируются растягивающие напряжения, а при конденсации покрытия — сжимающие;
- основным фактором, определяющим уровень остаточных напряжений, является время осаждения и соответственно толщина покрытия;

- наличие подслоя мягкого металла снижает величину остаточных напряжений покрытия в 1,3...1,6 раза, а переходного слоя — дополнительно на 20...45%. Нанесение покрытия чередованием мультислойных полос из различных материалов (Cu-TiN) снижает остаточные напряжения в 2,8...3,5 раза;
- остаточные напряжения в покрытиях имеют как термическую, так и структурную природу. Основной вклад в величину напряжений вносит структурный механизм их образования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Методика исследования напряженно-деформированного состояния системы подложка-покрытие при напылении тонких пленок в вакууме / С.А. Иващенко, Е.В. Макаревич, В.И. Плахотнюк, И.С. Фролов // Проблемы обработки поверхностей деталей машин концентрированными потоками энергии: Тез. докл. науч.-техн. конф., Минск, 19-20 сент. 1988 г. — Минск, 1988. — С. 32. 2. Корнилов И.И. Титан: Источники, составы, свойства, металлохимия и применение. — М.: Наука, 1975. — 308 с. 3. Хасуй А. Техника напыления. — М.: Машиностроение, 1975. — 288 с. 4. Остаточные напряжения в покрытии из нитрида титана, осажденного в вакууме / Н.В. Матвеев, А.Н. Краснов, И.В. Милосердов и др. // Проблемы прочности. — 1985. — № 5. — С. 90-93. 5. Палатник Л.С., Фукс М.Я., Косевич В.М. Механизм образования и субструктура конденсированных пленок. — М.: Наука, 1972. — 320 с.

ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАШИННОГО АГРЕГАТА С УЧЕТОМ КОЭФФИЦИЕНТА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Оценкой эффективности ограничения динамических нагрузок является коэффициент динамичности муфты K_d в самом тяжелом режиме нагружения привода – жестком стопорении.

Задавая в качестве исходных данных различные угловые скорости вращения ведомого вала ω_i перед моментом резкого его стопорения, получаем кривые изменения крутящего момента по времени (рис.1).

Каждая кривая дает величину максимального крутящего момента в зависимости от скорости его нарастания V_{Ti} , которая получается как результат деления номинального момента $T_{ном}$ на время t_{Hi} , в течение которого происходило нарастание крутящего момента от 0 до $T_{ном}$.

$$V_{Ti} = \frac{T_{ном}}{t_{Hi}}. \quad (1)$$

Как видно из графика (рис.1), V_{Ti} есть тангенс угла наклона каждой кривой в начале координат.

Имея максимальные значения крутящих моментов T_{max} при различных скоростях их нарастания V_{Ti} , получаем общую зависимость $T_{max} = f(V_T)$ (рис.2). Из ее анализа следует, что начиная с некоторой, определенной скорости нарастания крутящего момента, максимальный момент срабатывания значительно превышает момент настройки муфты, т.е. существенно увеличивается коэффициент динамичности муфты, причем эта зависимость носит явно степенной характер.

Это требует ее учета при проектировании привода с предохранительной муфтой. Количественно степень увеличения момента срабатывания может быть определена коэффициентом динамической чувствительности:

$$K_{д.ч.} = \frac{T_{V50}}{T_{ном}}, \quad (2)$$

где T_{V50} – максимальный момент срабатывания при скорости нарастания крутящего момента $50 \frac{\text{кНм}}{\text{с}}$. Скорость нарастания крутящего момента $V_T = 50 \frac{\text{кНм}}{\text{с}}$ принята как наиболее характерная для практических случаев применения фрикционных предохранительных муфт.

Коэффициент динамической чувствительности $K_{д.ч.}$ характеризует муфту определенной конструкции относительно влияния скорости нарастания крутящего момента на величину максимального момента срабатывания и должен быть учтен при проектировании привода.

При этом надо иметь в виду, что установка предохранительной муфты на тихоходном валу привода, где большой крутящий момент, приводит к увеличению габаритов и металлоемкости муфты, отсюда рациональным будет установка муфты на более быстроходном валу. Однако, в этом случае, должна быть учтена фактическая скорость нарастания крутящего момента в месте установки предохранительной муфты.

Практически эта скорость определяется приведенной податливостью машинного агрегата от предохранительной муфты до максимально вероятного места заклинивания механизма которая может быть определена экспериментально или аналитически.

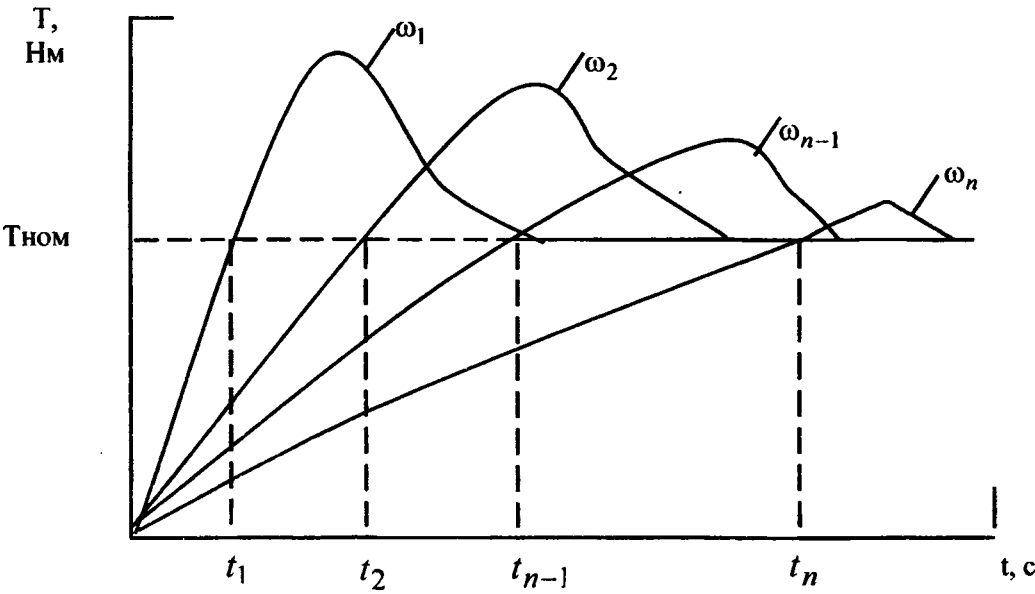


Рис. 1. Зависимость крутящего момента от угловой скорости

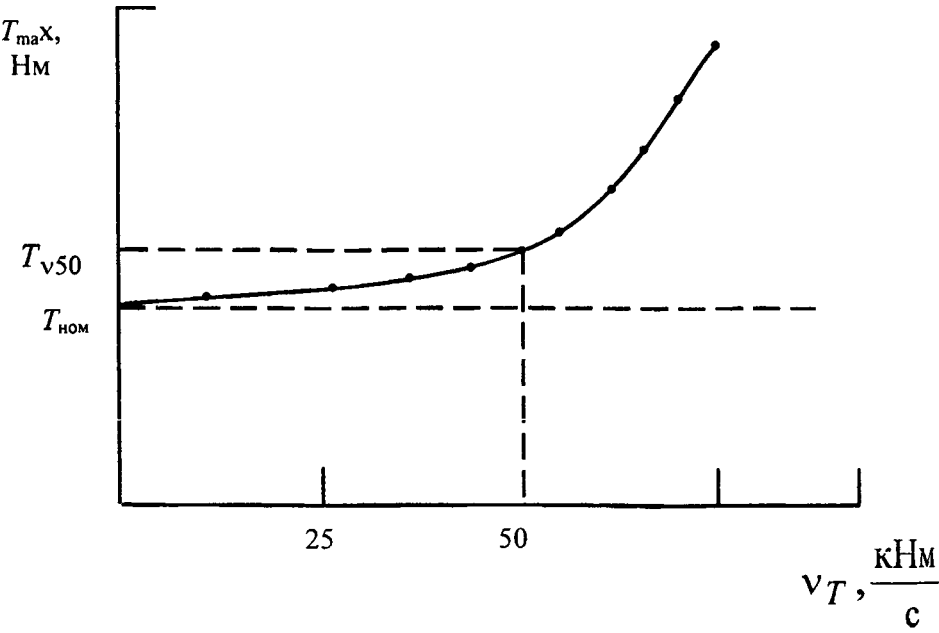


Рис. 2. Зависимость предельного момента срабатывания от скорости нагружения привода

Зная величину указанной приведенной податливости $e_{\text{пр}}$ можно определить время нарастания крутящего момента от нуля до $T_{\text{ном}}$, на которую настроена муфта:

$$t_{\text{н}} = \frac{\varphi}{\omega}, \quad (3)$$

где $\varphi = e_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ном}}$ – угловая координата ведомой полумуфты;

ω – угловая скорость момента заклинивания.

Таким образом, время нарастания крутящего момента:

$$t_{\text{ни}} = \frac{e_{\text{пр}} \cdot T_{\text{ном}}}{\omega_i}. \quad (4)$$

Имея время, за которое крутящий момент достигает своего номинального значения, определяем скорость его нарастания:

$$V_{\text{Ti}} = \frac{T_{\text{ном}}}{t_{\text{ни}}}. \quad (5)$$

Подставляя $t_{\text{ни}}$ из формулы (4) имеем:

$$V_{\text{Ti}} = \frac{\omega_i}{e_{\text{пр}}}. \quad (6)$$

Таким образом, скорость нарастания крутящего момента в любой точке привода пропорциональна угловой скорости и обратно пропорциональна приведенной податливости $e_{\text{пр}}$ от данной точки до места заклинивания привода.

Отсюда вытекают рекомендации по проектированию привода с целью применения муфты на максимально возможных скоростях, при минимальной металлоемкости. Определив наиболее подходящее с этих позиций место установки муфты, можно рассчитать скорость нарастания крутящего момента V_{Ti} , а по ней максимальный момент срабатывания муфты:

$$T_{\text{max}} = K_{\partial} \cdot T_{\text{ном}}, \quad (7)$$

где K_{∂} – коэффициент динамичности при рассматриваемой скорости нарастания крутящего момента V_{Ti} .

$$K_{\partial} = K_{\partial, \text{ч.}} \left(\frac{V_{\text{Ti}}}{V_{\text{T50}}} \right)^n. \quad (8)$$

Показатель степени n определяется по зависимости

$$T_{\text{max}} = f(V_{\text{T}}).$$

Зная значения максимального момента срабатывания предохранительной муфты в рассматриваемой точке, можно решить вопрос о постановке муфты в данном месте или переноса его в менее динамичную зону привода.

Таким образом, чувствительность муфты к скорости нагружения можно определить коэффициентом динамической чувствительности, который должен быть учтен при проектировании привода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаренко, В.П. Динамика приводных систем с предохранительными муфтами. – М.: Высш.шк., 1998. – 204 с.
2. Паламаренко А.З. Предохранительные муфты повышенной чувствительности срабатывания. – М.: Высш.шк., 1989. – 312 с.

УДК 621.1; 621,7.

Зубко С.А.

КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА ПРИ ИСПЫТАНИИ НА РАЗРЫВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Как показано в работе [1], в процессе испытаний стального образца на усталость, в вершине растущей трещины в стальном образце был установлен и показан методом голографической интерферометрии скачкообразный характер роста трещины. В вершине трещины по мере нарастания нагрузки в вершине локализовались упругие деформации материала в виде растущего «языка» пропорционального растущим напряжениям в вершине трещины. Достигнув определенной величины, происходил прострел (разрыв) всей зоны локализации деформаций с образованием прироста трещины по всей локализованной зоне. Деформации в вершине трещины исчезали и, при дальнейшем возрастании нагрузки, появлялись снова в виде растущего «языка» и исчезали с появлением нового приращения трещины.

На интерферограмме (рис. 1) представлено изображение вершины трещины под действием растягивающей нагрузки и формирования «языка» деформаций впереди вершины трещины.

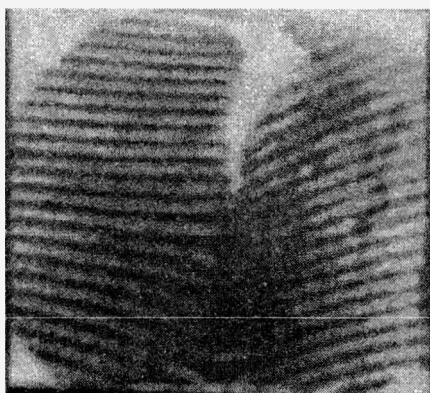


Рис. 1

Эксперимент был проведен на упруго пластическом стальном образце размером 45 x 45 мм из ст.45, толщиной 10 мм.

На середине одной из его сторон был выполнен V-образный надрез с углом раскрытия 45 градусов.

В вершине V-образного надреза, методом вибрационного нагружения, была выращена зародышевая трещина.

Образец, подготовленный таким образом, закреплялся в нагружающем устройстве, позволяющим прикладывать к образцу растягивающие нагрузки.

На нагружающем устройстве был смонтирован голографический интерферометр для измерения и регистрации поверхностных деформаций в зоне вершины трещины образца под действием растягивающих напряжений.

По мере увеличения растягивающей нагрузки велся постоянный контроль (под микроскопом) деформационного поля образца в зоне вершины трещины.

С ростом растягивающих напряжений в вершине трещины наблюдалось постепенное увеличение поля деформаций в виде острого языка, выступающего и растущего перед вершиной трещины до определенной величины. Затем происходил резкий, скачкообразный рост (выброс) от вершины трещины на величину языка поля деформаций.

После такого прострела локальное поле деформаций исчезало, т.е. произошло частичное уменьшение растягивающей нагрузки, по нашему представлению, за счет упругой составляющей нагрузки в вершине трещины на величину σ_y .

При этом условии роста трещины при приложенном растягивающем напряжении σ_p будет [2,3]:

$$\sigma_p \geq \sigma + \sigma_y = (8E\alpha / 3bL),$$

где σ_y -- упругая часть напряжений,

α -- поверхностное натяжение,

E -- модуль Юнга,

L -- длина упруго пластической зоны деформации в вершине трещины.

При σ_p больше $(\sigma + \sigma_y)$ трещина будет расти, после исчезновения упругой составляющей напряжения σ_y условия изменяются на $(\sigma_p < \sigma)$ и рост трещины прекращается.

Таким образом, распространение трещины в стальном образце можно представить, как ступенчато нарастающий, пульсирующий, не стационарный процесс, с частотой повторения, определяемый упругими и другими прочностными характеристиками материала [4]. Влияние этих параметров и условий испытания определяет жесткость испытаний и истинность их результатов.

После очередного дополнительного увеличения напряжений начинало появляться и постепенно расти снова новое, в виде языка, поле деформаций в зоне вершины трещины. Ступенчатый процесс роста трещины повторяется каждый раз после достижения напряжением критической величины, достаточным для разрыва материала в зоне языка деформаций. Процесс циклически повторяется.

Величина (длина) языка поля деформаций, по видимому, определяется прочностными свойствами испытываемого материала и может быть характеристическим коэффициентом для расчетов прочностных параметров.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Зубко С.А. Характер развития трещины при испытании стального образца на усталость. Респ. межв.сб.научн.трудов. Вып.23, 2007. Минск, БНТУ, стр.314-316.
2. Cottrell A., li., Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Clarendon Press, Oxford, 1953; русский перевод: Коттрелл А. Х., Дислокации и пластическое течение в кристаллах, Металлургиздат, 3.Физический энциклопедический словарь. т.4: М., Советская энциклопедия, 1965., стр. 236-238.
4. Материаловедение. Учебник. - В.А. Струк и др., Минск: ИВЦ Минфина, 2008,-519 с., с.115-117.

НАПРЯЖЕНИЯ ПРИ ПЛОСКОМ ИЗГИБЕ ПРЯМОГО СТЕРЖНЯ

Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь

При рассмотрении изгиба консоли прямоугольного поперечного сечения распределённой нагрузкой (рис.1) в курсе «Сопротивление материалов» установлено, что в поперечных сечениях возникают касательные напряжения, действующие в плоскости сечения, и нормальные напряжения, действующие перпендикулярно плоскости сечения. Эти напряжения определяются из следующих выражений (1).

$$\sigma_x = -\frac{M_x}{I_z} \cdot y; \tau_{xy} = -\frac{3 \cdot g \cdot x}{2 \cdot b \cdot h^3} \cdot (h^2 - 4 \cdot y^2); \sigma_y = 0 \quad (1)$$

где $M_x = -\frac{g \cdot x^2}{2}$ – изгибающий момент в сечении на расстоянии X от начала координат;

$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12}$ – момент инерции сечения;

g – интенсивность распределённой нагрузки;

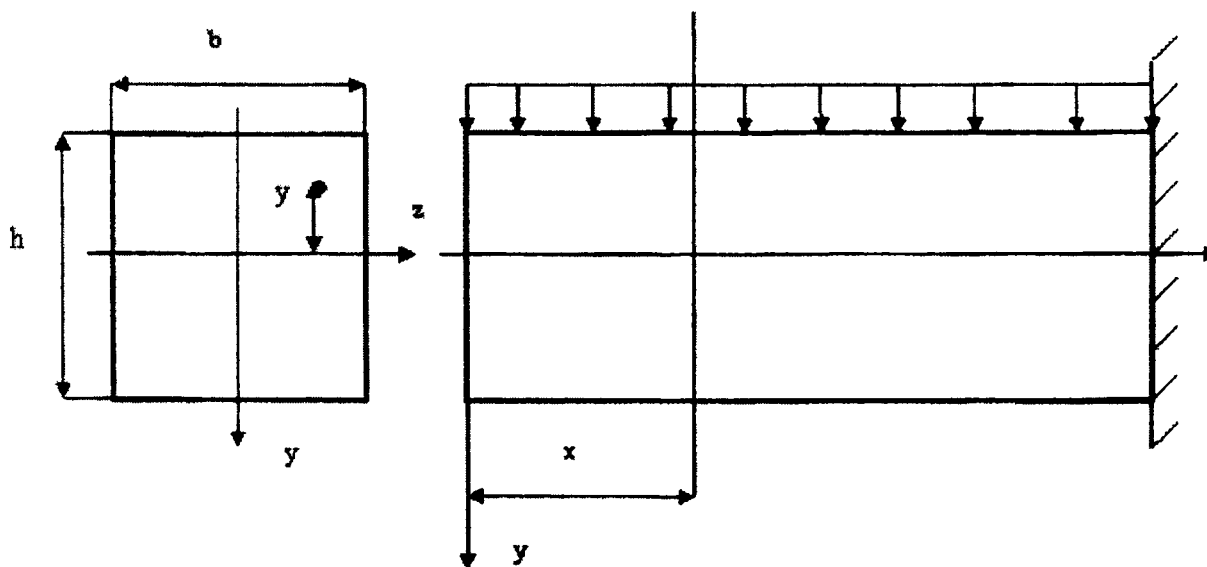


Рис. 1

Определим зависимости для этих же напряжений с точки зрения теории упругости.

Для решения этой задачи воспользуемся зависимостями выраженными через функцию напряжений (2).

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}; \sigma_y = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2}; \tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \quad (2)$$

где φ – функция напряжений, которая является функцией переменных X и Y.

Функция напряжений выбирается таким образом, чтобы она удовлетворяла следующему бигармоническому дифференциальному уравнению:

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^4} + 2 \cdot \frac{\partial^4 \varphi}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 \varphi}{\partial y^4} = 0. \quad (3)$$

Для определения функции напряжений следует предположить, что в плоскости сечения действуют касательные напряжения, и они будут изменяться как по высоте сечения, так и по длине стержня в соответствии с изменением поперечной силы. Так как поперечная сила изменяется линейно вдоль оси X, то закон изменения касательных напряжений в общем виде можно представить:

$$\tau_{xy} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} = x \cdot f_1(y). \quad (4)$$

Интегрируя последнее выражение, определим значение функции напряжений:

$$\varphi = -\frac{x^2}{2} \int f_1(y) dy + \int f(x) dx + f_2(y), \quad (5)$$

где $f_1(y)$ и $f_2(y)$ - неизвестные функции, зависящие от координаты Y, а $f(x)$ - неизвестная функция зависящая только от координаты X.

Рассматривая совместно выражение (2) и (4) получим следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} - 2 \cdot \frac{\partial f_1(y)}{\partial y} - \frac{x^2}{2} \cdot \frac{\partial^3 f_1(y)}{\partial y^3} + \frac{\partial^4 f_2(y)}{\partial y^4} = 0. \quad (6)$$

Полученные уравнения будут удовлетворяться при всех значениях X и Y, если:

$$\frac{\partial^3 f(x)}{\partial x^3} = 0; \quad \frac{\partial^3 f_1(y)}{\partial y^3} = 0; \quad \frac{\partial^4 f_2(y)}{\partial y^4} - 2 \cdot \frac{\partial f_1(y)}{\partial y} = 0. \quad (7)$$

Из уравнений (7) следует:

$$\begin{cases} f_1(y) = c_1 \cdot \frac{y^2}{2} + c_2 \cdot y + c_3 \\ f_2(y) = c_1 \cdot \frac{y^5}{60} + c_2 \cdot \frac{y^4}{12} + c_5 \cdot \frac{y^3}{6} + c_6 \cdot \frac{y^2}{2} + c_7 \cdot y + c_8 \\ f(x) = c_9 \cdot \frac{x^2}{2} + c_{10} \cdot x + c_{11} \end{cases} \quad (8)$$

Рассматривая совместно систему уравнений (8) и уравнение (5) окончательно получим выражение для функции напряжений:

$$\begin{aligned} \varphi = & \frac{x^2}{2} (c_1 \cdot \frac{y^3}{6} + c_2 \cdot \frac{y^2}{2} + c_3 \cdot y + c_4) + c_1 \cdot \frac{y^5}{60} + c_2 \cdot \frac{y^4}{12} + c_5 \cdot \frac{y^3}{6} + c_6 \cdot \frac{y^2}{2} + c_7 \cdot y + \\ & + c_8 + c_9 \cdot \frac{x^3}{6} + c_{10} \cdot \frac{x^2}{2} + c_{11} \cdot x + c_{12} \end{aligned} \quad (9)$$

где $c_1 \dots c_{12}$ - постоянные интегрирования.

Рассматривая совместно выражения (9) и (2) получим зависимости для напряжений σ_x, σ_y и τ_{xy} :

$$\begin{cases} \sigma_x = -\frac{x^2}{2} \cdot (c_1 \cdot y + c_2) + c_1 \cdot \frac{y^3}{3} + c_2 \cdot y^2 + c_5 \cdot y + c_6 \\ \sigma_y = -c_1 \cdot \frac{y^3}{6} - c_2 \cdot \frac{y^2}{2} - c_3 \cdot y + c_4 + c_9 \cdot x + c_{10} \\ \tau_{xy} = x \cdot (c_1 \cdot \frac{y^2}{2} + c_2 \cdot y + c_3) \end{cases} \quad (10)$$

Из граничного условия следует, что при $y = 0$, $\sigma_y = 0$. Это условие выполняется в том случае, если $c_2 = c_6 = 0$.

Следующее граничное условие требует, чтобы при $y = \frac{h}{2}$, $\sigma_y = 0$. Оно выполняется

$$\text{если } c_9 = 0, c_4 + c_{10} = -\frac{q}{2 \cdot b}$$

Из следующего граничного условия следует, что при $y = \pm \frac{h}{2}$, $\tau_{xy} = 0$. Это условие бу-

дет выполнено, если $c_3 = -c_1 \cdot \frac{h^2}{8}$.

С учётом полученных постоянных интегрирования формулы (10) можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \sigma_x = -c_1 \cdot \frac{x^2}{2} \cdot y + c_1 \cdot \frac{y^3}{3} + c_5 y \\ \sigma_y = -c_1 \cdot \frac{y^3}{3} - c_1 \cdot \frac{h^2}{8} \cdot y - \frac{q}{2 \cdot b} \\ \tau_{xy} = c_1 \cdot \frac{x}{8} \cdot (h^2 - 4 \cdot y^2) \end{cases} \quad (11)$$

Постоянную интегрирования c_1 найдём из следующего условия:

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \tau_{xy} \cdot b \cdot dy = c_1 \cdot b \cdot \frac{x}{8} \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} (h^2 - 4 \cdot y^2) \cdot dy = -q \cdot x$$

Откуда:

$$c_1 = -\frac{12 \cdot q}{b \cdot h^3} \quad (12)$$

Подставим постоянную интегрирования c_1 в выражение (11) получим:

$$\begin{cases} \sigma_x = -x^2 \cdot \frac{6 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y + \frac{4 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y^3 + c_5 \cdot y \\ \sigma_y = \frac{3 \cdot q}{2 \cdot b \cdot h} \cdot y - \frac{2 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y^3 - \frac{q}{2 \cdot b} \\ \tau_{xy} = -\frac{3 \cdot q \cdot x}{2 \cdot b \cdot h^3} \cdot (h^2 - 4 \cdot y^2) \end{cases} \quad (13)$$

Постоянную интегрирования c_5 определим из следующего условия:

$$\int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \sigma_x \cdot y \cdot b \cdot dy = b \cdot \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \left(-x^2 \cdot \frac{6 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y + \frac{4 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y^3 + c_5 \cdot y \right) \cdot y \cdot dy = -\frac{q \cdot x^2}{2}$$

Из последнего выражения легко установить, что:

$$c_5 = -\frac{3 \cdot q}{5 \cdot b \cdot h} \quad (14)$$

Подставив значение c_5 в выражение (13) окончательно получим формулы для определения σ_x , σ_y и τ_{xy} , которые будут иметь вид:

$$\begin{cases} \sigma_x = \frac{4 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y^3 - \frac{6 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot x^2 \cdot y - \frac{3 \cdot q}{5 \cdot b \cdot h} \cdot y \\ \sigma_y = \frac{3 \cdot q}{2 \cdot b \cdot h} \cdot y - \frac{2 \cdot q}{b \cdot h^3} \cdot y^3 - \frac{q}{2 \cdot b} \\ \tau_{xy} = -\frac{3 \cdot q \cdot x}{2 \cdot b \cdot h^3} \cdot (h^2 - 4 \cdot y^2) \end{cases} \quad (15)$$

Распределения нормальных напряжений σ_x и σ_y показано на рис. 2

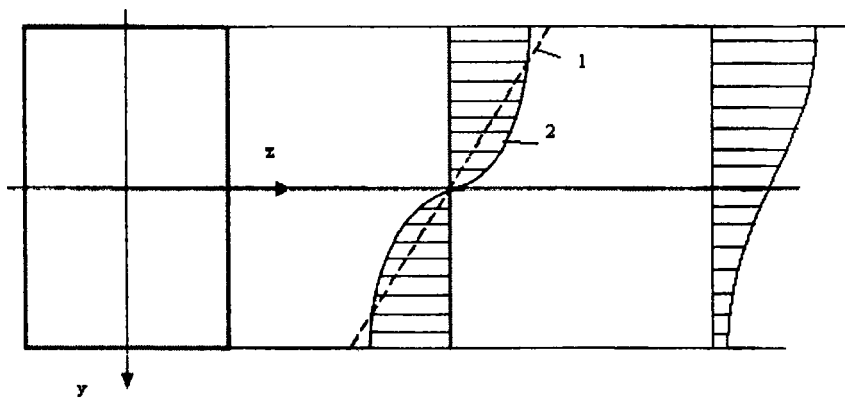


Рис. 2

где 16 – распределение нормальных напряжений σ_x по методу сопротивления материалов;

26 – распределение напряжений σ_x по полученной формуле;

в – распределение напряжений σ_y по полученной формуле;

Анализируя одновременно выражения (1) и (15) приходим к следующему выводу. Нормальные напряжения σ_x изменяются по высоте сечения по закону кубической параболы, но не по линейному закону как установлено в курсе «Сопротивление материалов». Причём максимальные напряжения при $y = \pm \frac{h}{2}$ могут быть как большие, так и меньше по величине напряжений, определяемых по методу сопротивления материалов и это зависит от соотношения между шириной и высотой поперечного сечения стержня. В стержне, нагруженном распределённой нагрузкой напряжение σ_y отличны от нуля. Касательные напряжения полученные методами теории упругости и сопротивления материалов, не отличаются друг от друга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев В.Н. .Сопротивление материалов. Наука, Москва, 1972.
2. Ван-Цзи-де Прикладная теория упругости. Физматгиз, Москва, 1959.

УДК 621.18.654

Апетёнок П.А., Абу Сахьон Вассим, Николаев В.А.

ПРИМЕНЕНИЕ ПК В ПРОЕКТИРОВАНИИ И РАСЧЁТЕ МНОГОЗВЕННОГО МЕХАНИЗМА В ПРИЛОЖЕНИИ EXCEL

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

С развитием информационных технологий, в настоящее время широко используются возможности ПК для проектирования различных механизмов. Это обусловлено высокими требованиями к надёжности и долговечности машин и их элементов, что и определяет рост конкурентоспособности изделий, разработанных с помощью многокритериального подхода к проектированию оптимальной конструкции. Данная работа посвящена теме проектирования и расчёта многозвенового механизма с помощью ПК. Задача программы заключается в определении различных параметров механизма (кинематика, силовой расчёт) по заданным параметрам. В приложении Excel производится расчёт и отображение графической информации этого механизма, который может использоваться в различных областях машиностроения.

Исходными данными для проектирования являются:

- Геометрические параметры механизма
- Масса каждого звена
- Угловая скорость вращения кривошипа
- Моменты инерции звеньев механизма

После ввода исходных данных, автоматически производится расчёт для каждого положения механизма через 6° , и построение графической информации.

Программа условно разбита на 2 части: кинематику и силовой расчёт.

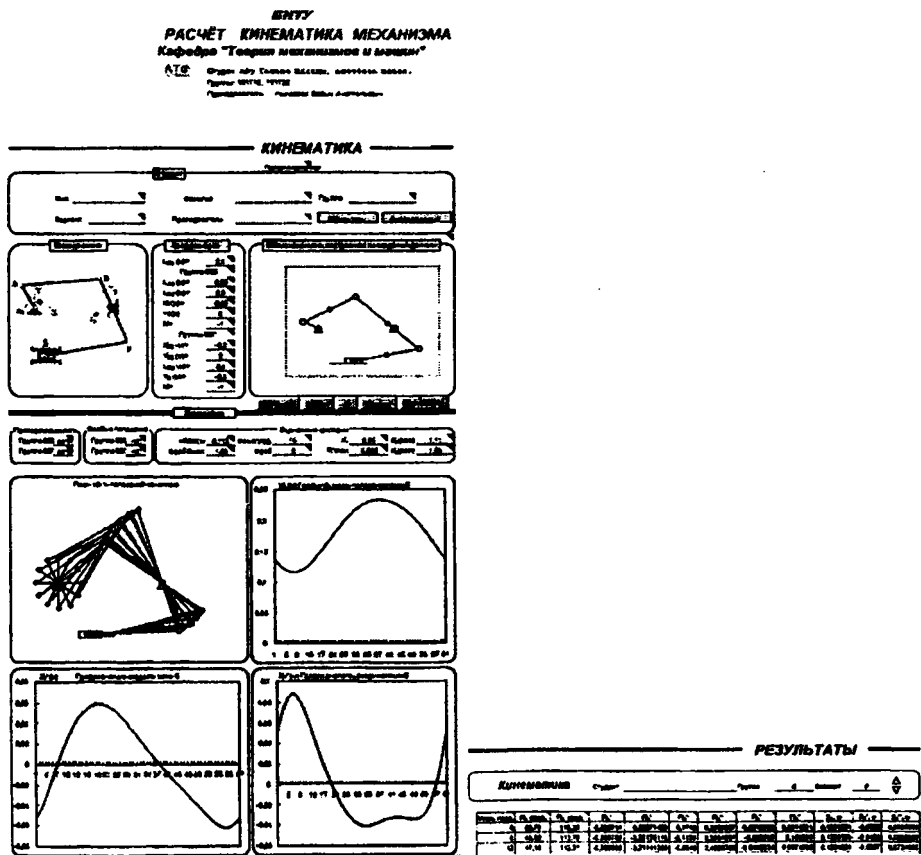
■ В первой части отображаются: базовая схема механизма; область ввода размеров; схема механизма, построенная по введённым данным; область диагностики; план 12-ти положений; график функции положения, аналогов скорости и ускорения ползуна; числовые данные результатов кинематического расчёта.

■ Во второй части отображаются: область ввода рабочей нагрузки для каждого положения механизма через 6° ; область ввода угловой скорости кривошипа, массы и моментов инерции звеньев; график рабочей нагрузки; диаграмма амплитуды гармоник; годограф главного вектора

сил инерции; график движущего момента; график реакции на ползун; годографы реакций в шарнирах; числовые данные результатов силового расчёта.

На рисунках представлены изображения рабочего окна программы.

Следует отметить, что программа проста в использовании. Имеет интуитивно понятный интерфейс. Использование данной программы значительно сокращает время проектирования и расчёта многозвенного механизма. Сразу после ввода исходных данных можно проанализировать всю полученную информацию: в виде различных графиков, построенной схеме механизма, результатам кинематического и силового расчётов.



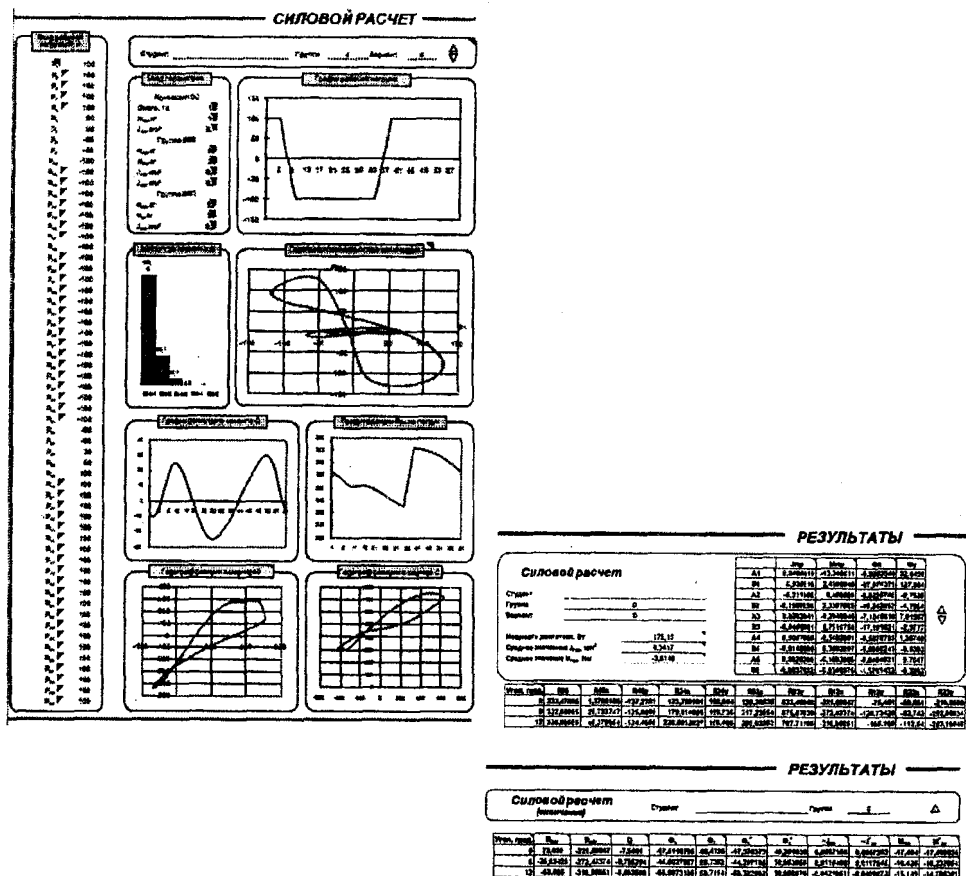


Рис. 1. Изображение окна программы (силовой и кинематический расчет показаны частично).

Данная программа может успешно использоваться при курсовом проектировании по дисциплине «Теория механизмов и машин». В программе предусмотрен ввод имени, фамилии, номера группы студента; номера варианта; ИФО преподавателя. И можно распечатать все результаты на 5 страниц формата А4.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория механизмов, машин и манипуляторов. Филонов И.П., Анципорович П.П., Акулич В.К. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998 – 656с.

УДК 621.81

Капустя П.П., Швец И.В.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СОПРОТИВЛЕНИЯ УСТАЛОСТИ КРИВОЛИНЕЙНЫХ ПРОКАТНЫХ ОПОР

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Сократить сроки создания новых конструкций машин стало возможным благодаря использованию имитационного моделирования. Проектируемая конструкция машины представляется в виде полномасштабной виртуальной модели и рассматривается как сложная механическая несущая система взаимосвязанных и взаимозависимых подсистем. Проведение эксперимента на такой модели соответствует натурным испытаниям, проводимым в

экспериментальных цехах, но с гораздо меньшими затратами средств на перенастройку испытательных стендов. С помощью имитационной модели осуществляется проектная оценка нагруженности машин для дальнейшего анализа и определения опасных по усталости элементов и их характеристик сопротивления усталости, а также прогнозирования ресурса исследуемой конструкции.

Проектируемая конструкция машины корректируется и дополняется по мере накопления данных о характеристиках сопротивления усталости элементов, критериях прочности и жесткости, вероятностном расчете ресурса, эксплуатационной нагруженности.

Данное исследование предпринято с целью определения напряжений, возникающих в листах опоры подвески полуприцепа МАЗ-97583 для дальнейшего прогнозирования характеристик сопротивления усталости.

Расчет напряжений произведен методом конечных элементов на пакете NASTRAN на рабочей станции HP-9000. Конечноеlementная модель создана в пре/постпроцессоре PATRAN на основе геометрической трехмерной модели, выполненной в пакете трехмерного моделирования Unigraphics.

Подвеска полуприцепа (рис. 1) включает в себя пневмоэлемент (указатель 1) – упругое звено, гидроамортизатор (указатель 2) – гасящее звено и опору (указатель 3) – направляющее звено подвески. Усилия от дороги передаются на ось полуприцепа (указатель 4), далее через соединительные кронштейны (указатель 5), стянутые стремянками (указатель 6), на опору, а от нее – через шарнир (указатель 7) и пневмоэлемент на раму.

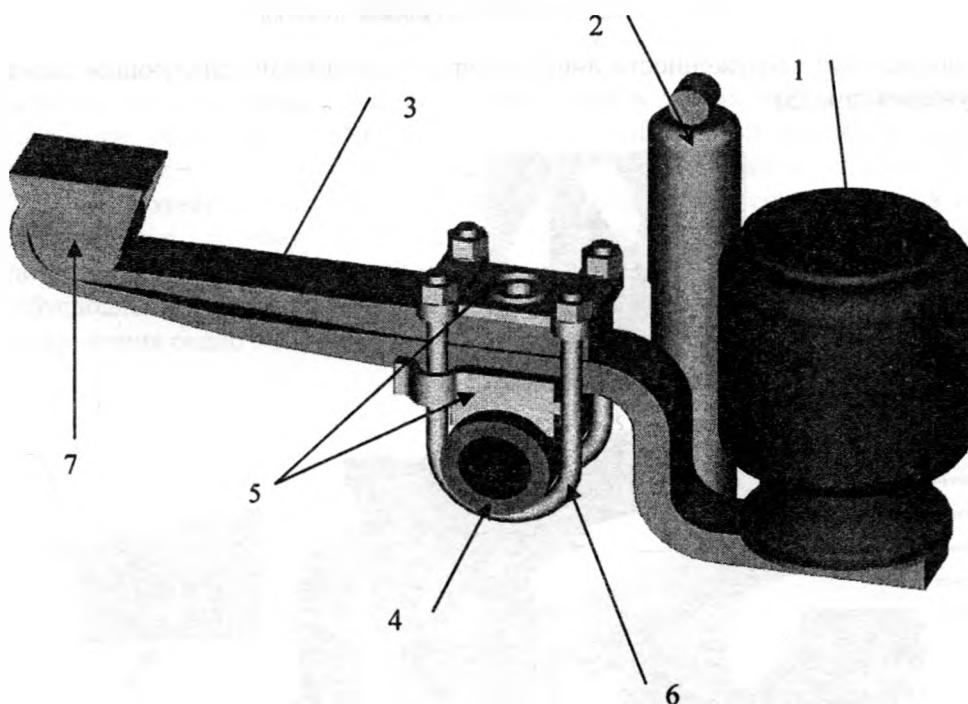


Рис. 1. Схема подвески полуприцепа

Конечноеlementная модель (рис. 2) выполнена в препроцессоре MSC/Patran по геометрической модели, сделанной в пакете трехмерного моделирования Unigraphics. Точность следования геометрии составляющих определяется влиянием её на общую жёсткость системы. При создании конечноеlementной модели для получения удовлетворительных результатов расчета было принято решение о таком размере конечных элементов, чтобы по толщине листа опоры располагалось три элемента. Таким образом, в среднем, размер элемента составил 15 мм.

Следовательно, технологические радиусы, а также фаски и другие незначительные элементы конструкции размером до 3 мм не моделировались.

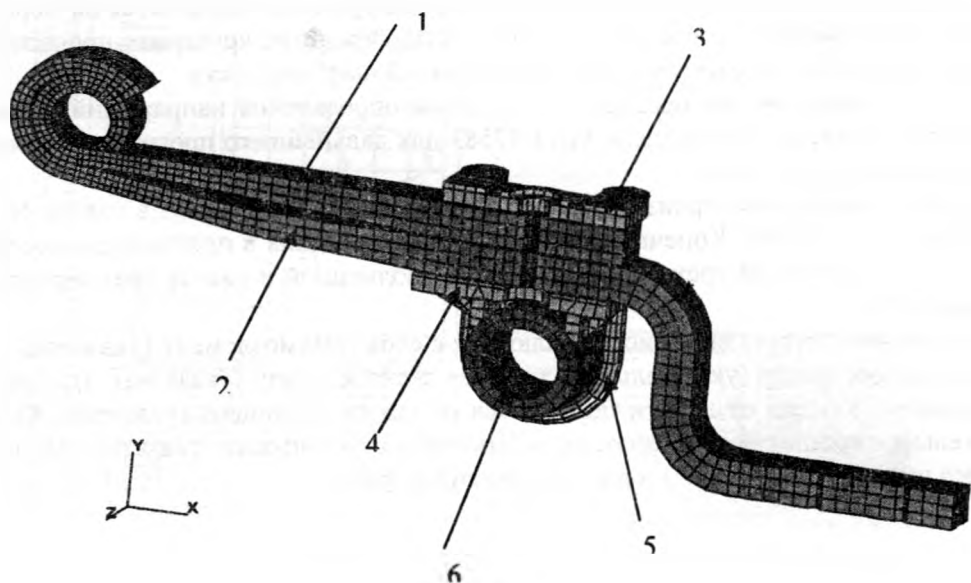


Рис. 2. Конечнэлементная модель подвески

Для определения нагруженности листов опоры была выбрана следующая схема закрепления и нагружения (рис. 3):

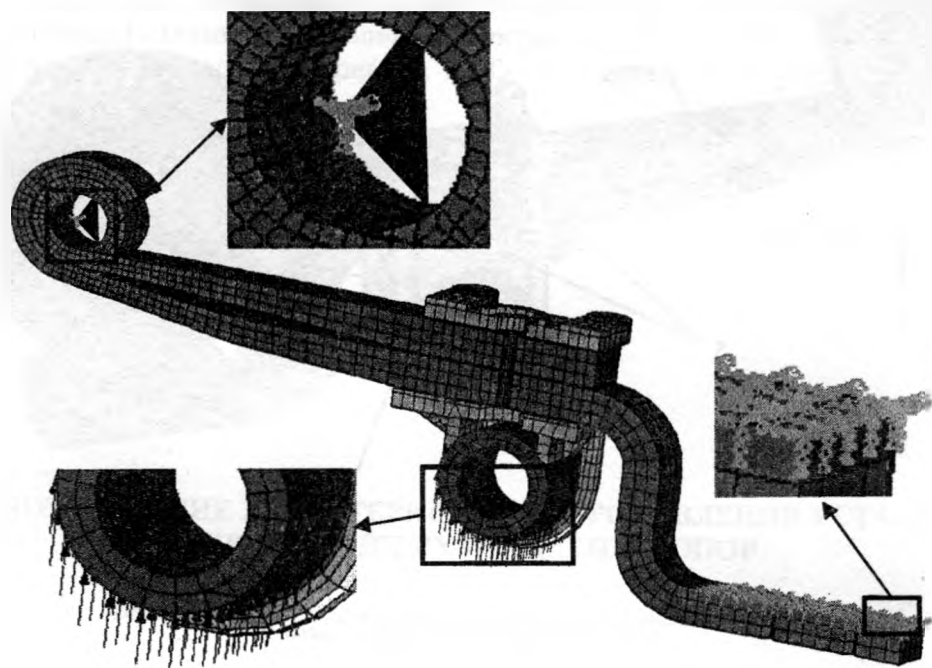


Рис. 3. Схема нагружения и закрепления модели

В результате проведенного расчета были получены картины распределения напряжений (рис. 4) в деталях подвески полуприцепа при статическом нагружении из условия приходящейся на ось нагрузки в 8000 кг с учетом затяжки гаек стремянок с моментом затяжки 600 Н·м.

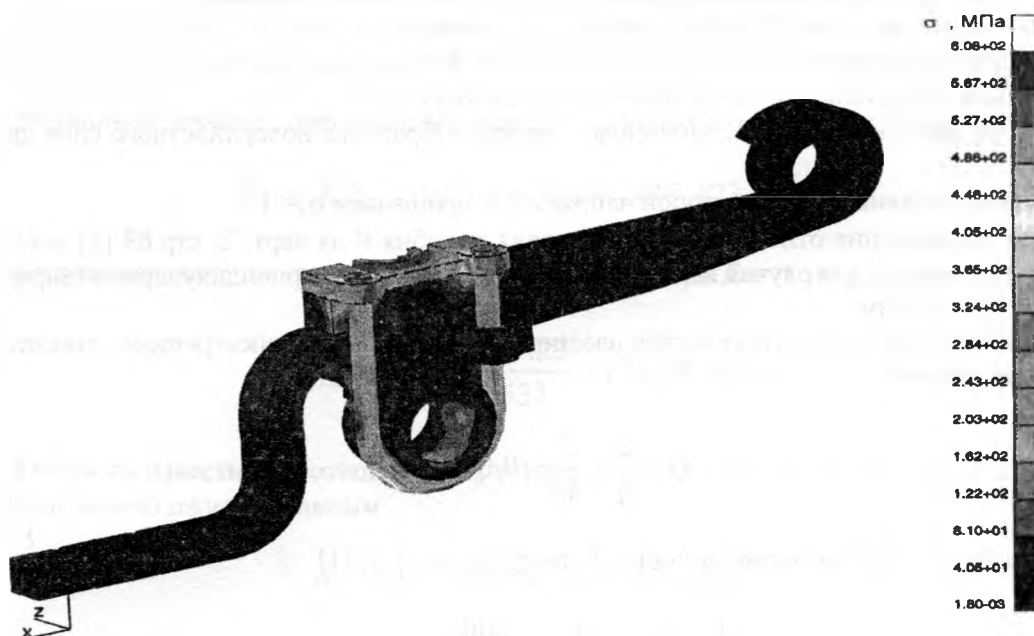


Рис. 4. Схема эквивалентных напряжений в подвеске

Как видно из приведенного рисунка, напряжения в листах опоры значительно меньше предела текучести (для стали 50ХГФА $\sigma_T = 1324$ МПа). Распределение эквивалентных напряжений в верхнем листе приведено на рисунке 5 (нелинейная шкала). Здесь можно выделить две зоны возникновения напряжений - в месте присоединения рессоры к накладке и в зоне присоединения к шарниру. Максимальное значение в 428 МПа (рис. 6) достигается в верхнем листе опоры от действия сжимающих усилий стремянки. Однако столь высокое значение обусловлено концентрацией напряжений в угловом узле листа, более вероятными являются напряжения около 300 МПа.

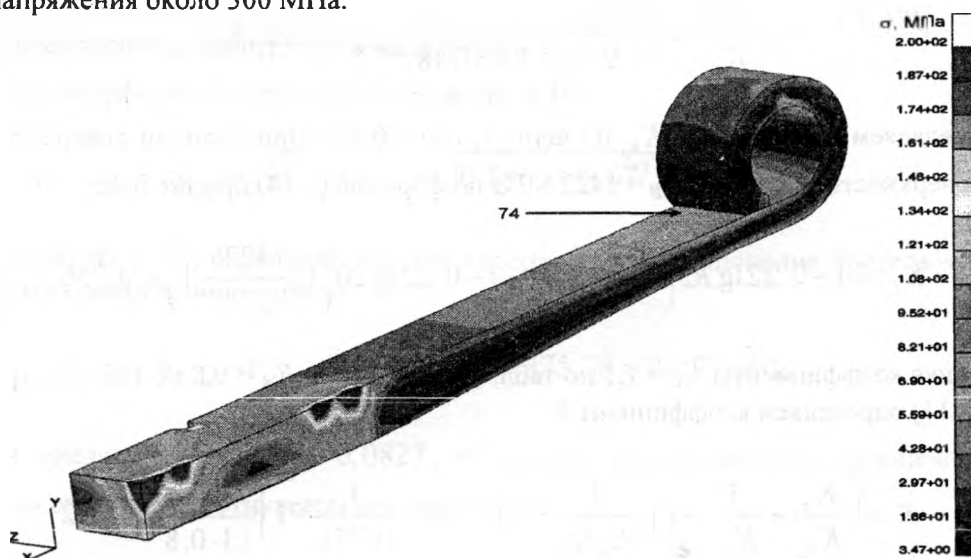


Рис. 5. Схема распределения эквивалентных напряжений в верхнем листе опоры

Для расчетной оценки динамической нагруженности на стадии проектирования используются метод конечных элементов и обобщенное динамическое уравнение Лагранжа. Для вычисления характеристик сопротивления усталости используется методика, основанная на ГОСТ 25.504-82 и рекомендациях [1].

Расчет характеристик сопротивления усталости опоры подвески

Исходные данные. Размеры сечения листовой опоры: $b \times h = 100 \times 45$ мм. Материал – сталь рессорно-пружинная 50ХГФА ГОСТ 14959-79. Справочные данные по механическим характеристикам этой стали: $\sigma_B = 1422$ МПа, $\sigma_T = 1324$ МПа.

Опора работает на изгиб. Заготовка – прокат. Обработка поверхностного слоя дробеструйная, $Ra5$.

При отсутствии концентраторов напряжений принимаем $\alpha_\sigma = 1$.

Для определения относительного критерия подобия θ из черт. 2, стр.69 [2] найдем параметр $L=2b$ (схема а) для случая изгиба пластины в плоскости, перпендикулярной ширине рессоры, $L=2 \times 100=200$ мм.

Из табл. 1 стр. 6 для случая изгиба пластины при отсутствии концентраторов относительный градиент напряжений

$$\bar{G} = \frac{2}{h} = \frac{2}{45} = 0,044 \text{ мм}^{-1}.$$

Относительный критерий подобия θ по формуле (3.8) [1]

$$\theta = \frac{1}{88,3} \cdot \frac{L}{\bar{G}} = \frac{1}{88,3} \cdot \frac{200}{0,044} = 51,48 \text{ мм}^2.$$

По формуле (27[2]) приближенно определяем коэффициент чувствительности металла к концентрации напряжений ν_σ

$$\nu_\sigma = 0,2 - 0,0001\sigma_B = 0,2 - 0,0001 \cdot 1422 = 0,0578.$$

По формуле (3.14,а) определяем отношение

$$\frac{K_\sigma}{K_{d_\sigma}} = \frac{2\alpha_\sigma}{1 + \theta^{-\nu_\sigma}} = \frac{2 \cdot 1}{1 + 51,48^{-0,0578}} = 1,1134.$$

Определяем коэффициент K_{F_σ} по черт. 3, стр. 70 [2]. При наличии поверхностного наклепа на поверхности опоры для $\sigma_B = 1422$ МПа по формуле (3.14) при $Ra 5$ ($Rz = 20$)

$$K_{F_\sigma} = 1 - 0,22 \lg Rz \left(\lg \frac{\sigma_B}{20} - 1 \right) = 1 - 0,22 \lg 20 \left(\lg \frac{1422}{20} - 1 \right) = 0,756.$$

Приняв коэффициенты $K_\nu = 1,1$ по табл. 3, стр. 73 [2] и $K_A = 0,8$ по табл. 5, стр. 14 [2] по формуле (3.11) определяем коэффициент K

$$K = \left(\frac{K_\sigma}{K_{d_\sigma}} + \frac{1}{K_{F_\sigma}} - 1 \right) \cdot \frac{1}{K_\nu K_A} = \left(1,1134 + \frac{1}{0,756} - 1 \right) \frac{1}{1,1 \cdot 0,8} = 1,632$$

По формуле (3.13) определяем приближенное значение предела выносливости образца диаметром $d_o = 7,5$ мм из стали 50ХГФА

$$\bar{\sigma}_{-1} = (0,55 - 0,0001\bar{\sigma}_B) \bar{\sigma}_B = (0,55 - 0,0001 \cdot 1422) 1422 = 579,89 \text{ МПа.}$$

По формуле (3.12,б) определяем коэффициент K_1 .

$$K_1 = 1 - 0,2 \lg \frac{d}{d_o} = 1 - 0,2 \lg \frac{100}{7,5} = 0,775.$$

Медианное значение предела выносливости заготовки по формуле (3.12,а)

$$\bar{\bar{\sigma}}_{-1} = K_1 \bar{\sigma}_{-1} = 0,775 \cdot 579,89 = 449,423 \text{ МПа.}$$

Медианное значение предела выносливости опоры при $R = -1$ по формуле (1) будет

$$\bar{\bar{\sigma}}_{-1D} = \frac{\bar{\bar{\sigma}}_{-1}}{K} = \frac{449,423}{1,632} = 275,38 \text{ МПа.}$$

Учитывая известное соотношение $\sigma_0 = 1,5 \sigma_{-1}$ для отнулевого цикла предел выносливости рессоры можно ожидать равным

$$\bar{\bar{\sigma}}_{0D} = 1,5 \cdot 275,38 = 413,07 \text{ МПа.}$$

Коэффициент вариации $\nu_{\sigma_{\max}}$ по формуле (3.20)

$$\nu_{\sigma_{\max}} = \frac{0,1}{1 + \theta^{\nu_{\sigma}}} = \frac{0,1}{1 + 51,48^{0,0578}} = 0,044.$$

Коэффициент вариации $\nu_{\sigma_{-1}}$ примем по формуле (3.21)

$$\nu_{\bar{\sigma}_{-1}} \approx \nu_{\sigma_{-1}} \approx 0,07.$$

При отсутствии концентраторов напряжений $\nu_{\alpha_{\sigma}} = 1$.

Общий коэффициент вариации по формуле (3.19)

$$\nu_{\sigma_{-1D}} = \sqrt{\nu_{\sigma_{\max}}^2 + \nu_{\sigma_{-1}}^2} = \sqrt{0,044^2 + 0,07^2} = 0,0827.$$

Из формулы (3.18) определим среднее квадратическое отклонение предела выносливости рессоры при симметричном цикле

$$S_{\sigma_{-1D}} = \nu_{\sigma_{-1D}} \cdot \bar{\bar{\sigma}}_{-1D} = 0,0827 \cdot 275,38 = 22,77 \text{ МПа.}$$

Если принять $\nu_{\sigma_{0D}} = \nu_{\sigma_{-1D}} = 0,0827$, то среднее квадратическое отклонение предела выносливости рессоры при отнулевом цикле составит

$$S_{\sigma_{0D}} = \nu_{\sigma_{0D}} \cdot \bar{\bar{\sigma}}_{0D} = 0,0827 \cdot 413,07 = 34,16 \text{ МПа,}$$

а соответствующие различным вероятностям разрушения пределы выносливости рессоры можно определить по формулам

$$\begin{aligned}(\sigma_{0Л})_p &= \bar{\bar{\sigma}}_{0Л} + U_p S_{\sigma_{0Л}}; \\ (\sigma_{-1Л})_p &= \bar{\bar{\sigma}}_{-1Л} + U_p S_{\sigma_{-1Л}},\end{aligned}$$

где квантиль U_p при вероятности неразрушения $(1-P) > 50\%$ должна быть с минусом. Показатель наклона кривой усталости по формуле (3.25) – при симметричном цикле

$$m = \frac{c}{K},$$

где $c = 5 + \frac{\sigma_B}{80} = 5 + \frac{1422}{80} = 22,775.$

$$m = \frac{22,775}{1.632} = 13,955.$$

В таблице 1 приведены результаты вычислений величин $(\sigma_{0Л})_p$ и $(\sigma_{-1Л})_p$ для различных вероятностей неразрушения $1-P$.

Таблица 1 – Пределы выносливости листов опоры подвески при различных вероятностях неразрушения

$1-P$	U_p	$(\sigma_{0Л})_p$, МПа	$(\sigma_{-1Л})_p$, МПа
0,5	0	275,38	413,07
0,6	-0,254	269,59	404,39
0,7	-0,524	263,45	395,17
0,8	-0,842	256,20	384,31
0,9	-1,281	246,21	369,31
0,95	-1,645	237,92	356,88
0,99	-2,326	222,41	333,61
0,999	-3,0	207,06	310,59

ЛИТЕРАТУРА

- Капуста, П. П. Вероятностная оценка характеристик сопротивления усталости деталей на стадии проектирования машин: Учебно-методическое пособие для ВТУЗов. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 97 с.
- ГОСТ 25.504-82. Расчеты и испытания на прочность. Методы расчета характеристик сопротивления усталости. – Введ. 01.07.83. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 81 с.
- Общетехнический справочник / Е. А. Скороходов, В. П. Законников, А. Б. Пакнис и др.; Под общ. ред. Е. А. Скорохова. – 4-е изд., испр. – М.: Машиностроение, 1990. – 496 с.

ТРАЕКТОРИЯ МЕТАНИЯ СТРУКТУРНОГО ТЕЛА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

По результатам теоретических исследований кольцевого метателя можно рассчитать не только конструктивные, но и некоторые эксплуатационные параметры машины, в частности, дальность L полёта частиц сыпучего материала в зависимости от частоты ω вращения и угла θ_0 выброса частиц [1,2].

Задача о движении тела сводится к интегрированию системы дифференциальных уравнений: трёх уравнений движения центра массы тела и трёх уравнений вращения тела около его центра массы. Однако при таком количестве неизвестных невозможно получить положительное решение.

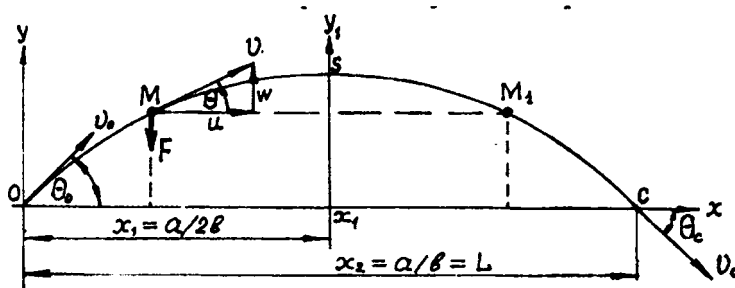


Рис. 1. Движение центра массы тела в пустоте

Движущееся тело подвержено действию сил: силы тяжести и силы сопротивления воздуха. Рассмотрим некоторую точку M (рис. 1) траектории движения тела в безвоздушном пространстве. В этом случае на тело действует единственная сила $F = mg$, тогда получим следующую систему дифференциальных уравнений поступательного движения $m\ddot{x} = 0$; $m\ddot{y} = -F = -mg$ или после сокращения на m , получим

$$\ddot{x} = 0; \quad \ddot{y} = -g. \quad (1)$$

Начальные условия: при $t = 0$, координаты центра массы $x = 0$ и $y = 0$

$$\dot{x} = v_0 \cos \theta_0; \quad \dot{y} = v_0 \sin \theta_0.$$

Так как вес тела не входит ни в дифференциальные уравнения, ни в начальные условия, то движение центра массы тела в пустое не зависит от его веса.

Интегрируя систему уравнений (1), получим

$$x = C_1; \quad y = -gt + C_2.$$

Из начальных условий находим $C_1 = v_0 \cos \theta_0$; $C_2 = v_0 \sin \theta_0$ и первые интегралы системы (1) получим в следующем виде

$$\dot{x} = v_0 \cos \theta_0; \quad \dot{y} = v_0 \sin \theta_0 - gt. \quad (2)$$

Из первого уравнения системы (2) следует, что при движении в пустоте горизонтальная проекция скорости остаётся постоянной вдоль траектории.

Интегрируя систему (2), получим

$$x = v_0 \cos \theta_0 t + C_3; y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{gt^2}{2} + C_4.$$

Из начальных условий находим

$$C_3 = C_4 = 0 \text{ и тогда } x = v_0 \cos \theta_0 t, y = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{gt^2}{2}. \quad (3)$$

Исключив переменную t из системы (3), получим уравнение траектории

$$y = x \operatorname{tg} \theta_0 - \frac{gx^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}. \quad (4)$$

Полученное выражение является уравнением второго порядка, представляющее частный случай диофантовых уравнений, в котором отсутствуют члены с произведением xu или y' , поэтому его дискриминант равен нулю, а траектория движения центра массы в пустоте представляет параболу.

Перепишем уравнение (4) в виде

$$y = ax - bx^2. \quad (5)$$

Приравняв y нулю $ax - bx^2 = x(a - bx) = 0$, найдём корни $x_1 = 0$, $x_2 = a/b$.

Первое решение отвечает точке схода тела с кольцевого метателя, второе – точке его падения.

Полная горизонтальная дальность полёта $L = x_2 = a/b$.

Перенесём условно начало координат по оси x на расстояние равное половине полной дальности полёта тела, при этом ось ординат проходит через точку S траектории движения (рис. 1). Переходя от старых координат будем иметь $y = y_1$; $x = a/2b + x_1$ и, подставив их значение в уравнение (5), получим

$$y_1 = a \left(\frac{a}{2b} + x_1 \right) - b \left(\frac{a}{2b} + x_1 \right)^2 \text{ или } y_1 = \frac{a^2}{4b} - bx_1^2.$$

Полученное уравнение траектории движения – параболы, в котором отсутствуют нечётные степени x , следовательно, новая условная ось ординат y_1 является осью симметрии параболы, так как двум произвольным значениям $x = +k$ и $x = -k$ отвечает одно и то же значение y .

Элементы траектории x и y можно получить при интегрировании дифференциальных уравнений движения. Для определения скорости тела в произвольной точке траектории составим уравнение действующих сил.

$$\frac{Fv^2}{2g} - \frac{Fv_0^2}{2g} = -mgy$$

откуда находим скорость тела

$$v = \sqrt{v_0^2 - 2gy}. \quad (6)$$

Из анализа уравнения (6) и рисунка 1 следует, что скорости в двух точках M и M'

траектории, находящихся на одной высоте, равны. Следовательно, скорость падения равна скорости выброса и убывает с высотой. Минимальная скорость тела будет в вершине траектории.

Дифференцируя уравнение (4) и имея в виду, что $dy/dt = tg\theta$, получим

$$tg\theta = tg\theta_0 - \frac{gx}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0} \quad (7)$$

Согласно принятому положительному направлению отсчёта углов θ против часовой стрелки от горизонта к касательной, этот угол положителен на восходящей ветви траектории и отрицателен на нисходящей. Так как траектория в пустоте симметрична, то угол падения по абсолютной величине равен углу выброса тела из кольцевого метателя.

Из уравнения (4), полагая $y = 0$, получим для точки падения $x = L$.

$$0 = L tg\theta_0 - \frac{gL^2}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}; \text{ откуда } tg\theta_0 = \frac{gL}{2v_0^2 \cos^2 \theta_0}; \text{ или } L = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{g} \quad (8)$$

Из выражения (3) для координаты x имеем координату $t = \frac{x}{v_0 \cos \theta_0}$.

Подставив значение $L = x$ из выражения (8), преобразовав в полное время полёта, получим

$$t_c = T = \frac{2v_0 \sin \theta_0}{g} \quad (9)$$

Для вершины траектории имеем $x_s = L/2 = v_0^2 \sin 2\theta_0 / 2g$. Подставив значение x_s в уравнение (4), получим после преобразований высоту траектории

$$H = y_s = \frac{v_0^2 \sin^2 \theta_0}{2g} = \frac{Ltg\theta_0}{4} \quad (10)$$

Для времени полёта до вершины траектории имеем

$$t_s = \frac{x_s}{v_0 \cos \theta_0} = \frac{v_0^2 \sin 2\theta_0}{2gv_0 \cos \theta_0} = \frac{v_0 \sin \theta_0}{g} = \frac{T}{2} \quad (11)$$

Из выражения (8) для полной горизонтальной дальности $L = v_0^2 \sin 2\theta_0 / g$ следует, что наибольшая дальность полёта соответствует углу бросания, при котором $\sin 2\theta_0 = 1$, то есть $\theta_0 = 45^\circ$, тогда $L = v_0^2 / g$.

Характерные элементы траектории движения брошенного тела в воздухе значительно отличаются от элементов траектории в пустоте. Эта разница тем больше, чем больше скорость тела и чем меньше его вес. Только при скорости тела менее 50 м/с можно пренебречь силу сопротивления воздуха для средних и крупных тел [3].

Изучение влияния сопротивления воздуха движению различных тел имеет определяющее значение для решения задач по точности распределения их по различным поверхностям пространства.

Согласно теории И.Ньютона твёрдое тело сталкивается с частицами воздуха и придаёт им некоторую скорость, при этом их кинетическая энергия получается за счёт движущегося тела, что является сопротивлением воздуха.

Составив уравнение количества движения, получим $2\rho S v^2 dt = R dt$ или $R = 2\rho S v^2$, где v – скорость, ρ – массовая плотность воздуха, S – площадь поперечного сечения тела. В общем виде $R = k\rho S v^2$, где $1 < k < 2$.

Эта формула имеет удовлетворительную сходимость с экспериментальными данными только при условии $v < 250$ м/с. В теории Ньютона рассматривается взаимодействие физических абсолютно твердых тел [4].

В нашем случае рассматривается взаимодействие структурного (сыпучего) тела с воздушным потоком. Выделим вдоль линии потока элемент струи длиной dS поперечным сечением dA и запишем уравнение движения этого элемента согласно теории Д.Бернулли. Масса элемента равна $\rho dS dA$, давление слева P , справа $-(P + dP)$ (рис. 2).

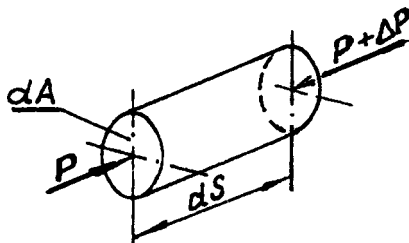


Рис. 2. Взаимодействие элемента потока с препятствием

Если равномерный поток воздуха встречает на своём пути препятствие, то непосредственно перед препятствием происходит подпор – замедление потока. Уравнение движения записывается в виде $\rho dA dS \frac{dv}{dt} = [P - (P + dP)]dA$. Так как $dS / dt = v$, то $v dv = -dP / \rho$. Интегрируя пределы от начальной точки до произвольной точки струи, получим

$$\frac{v^2 - v_i^2}{2} = - \int_{P_o}^P \frac{dP}{\rho}.$$

Для небольших скоростей воздуха можно, пренебрегая его сжимаемостью, принять $\rho = \rho_o = \text{const}$, тогда

$$\frac{v^2 - v_i^2}{\rho} = - \frac{1}{\rho} (P - P_o) \quad \text{или} \quad \frac{v^2}{2} + \frac{P}{\rho} = \frac{v_i^2}{2} + \frac{P_o}{\rho} = \text{const}.$$

Из этого выражения следует, что с увеличением скорости вдоль струи давление уменьшается и при встрече с препятствием обращается в нуль. Тогда получим $1/2 \rho v_i^2 = P - P_o = \Delta P$. Добавочное давление – скоростной напор.

Учитывая сжимаемость воздуха и рассматривая адиабатическую зависимость между плотностью и давлением $\frac{P}{\rho^k} = \frac{P_o}{\rho_o^k}$, $\frac{1}{\rho} = \frac{1}{\rho_o} \left(\frac{P_o}{P} \right)^{1/k}$, получим:

$$\int_{P_o}^P \frac{dP}{\rho} = \frac{P_o^{1/k}}{\rho_o} \int_{P_o}^P P^{-1/k} dP = \frac{k}{k-1} \frac{P_o^{1/k}}{\rho_o} (P_o^{(k-1)/k} - P^{(k-1)/k}) = \frac{k}{k-1} \frac{P_o}{\rho_o} \left[1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{(k-1)/k} \right]$$

Уравнение Бернулли будет:

$$\frac{v^2 - v_o^2}{2} = \frac{k}{k-1} \frac{P_o}{\rho_o} \left[1 - \left(\frac{P}{P_o} \right)^{(k-1)/k} \right].$$

В случае столкновения струи с препятствием получим $v = 0$, отсюда

$$\frac{v_o^2}{2} = \frac{k}{k-1} \frac{P_o}{\rho_o} \left[\left(\frac{P}{P_o} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right].$$

Введя выражение для скорости звука в воздухе в начальной точке струи $a_o = \sqrt{\frac{kP_o}{\rho_o}}$,

получим

$$\left(\frac{v_o}{a_o} \right)^2 = \frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{P}{P_o} \right)^{(k-1)/k} - 1 \right] \text{ или } \frac{P}{P_o} = \left[1 + \frac{k-1}{2} \left(\frac{v_o}{a_o} \right)^2 \right]^{k/(k-1)}.$$

Если скорость струи v_o мала по сравнению со скоростью звука a_o , то, разложив выражение в квадратных скобках по биному, получим после некоторых преобразований и имея ввиду, что

$$\frac{k}{2} \left(\frac{v_o}{a_o} \right)^2 = \frac{k v_o^2}{2} \frac{\rho_o}{k P_o} = \frac{1}{P_o} \frac{\rho_o v_o^2}{2}, \text{ получим}$$

$$\Delta P = P - P_o = \frac{\rho_o v_o^2}{2} \left[1 + \frac{1}{4} \left(\frac{v_o}{a_o} \right)^2 \right].$$

Выражение в квадратных скобках является поправочным коэффициентом сжимаемости воздуха. При нормальной плотности воздуха $\rho = 1,206 \text{ кг/м}^3$ и весовой плотности $\rho = 1,206/9,81 = 0,123$ скоростной напор при скорости $v = 26 \text{ м/с}$ составит $\Delta P = 0,5 \cdot 0,123 \cdot 30^2 = 55,35 \text{ кг/м}^2$. С учётом поправки на сжимаемость скоростной напор составит $\Delta P = 55,35 \cdot 1,002 = 55,46 \text{ кг/м}^2$, что соответствует 0,2 %.

Уравнение Бернулли позволяет вычислить избыточное давление потока на элементарное тело [5].

Уравнение не применимо при скорости большей, чем скорость звука.

Вязкое бесконечно малое уплотнение воздуха распространяется в пространстве со скоростью звука. Конечные уплотнения воздуха распространяются со скоростью большей скорости звука.

Рассмотрим поток воздуха, движущийся со скоростью v , и некоторую неподвижную точку M , около которой создаётся некоторое уплотнение воздуха. Это уплотнение в каждый рассматриваемый момент времени создаёт сферическую волну, распространяющуюся со скоростью звука a . Центр этой волны распространяется вместе с потоком со скоростью v . За время t , $2t$, $3t$ с центры сферических волн переместятся на расстояние vt , $2vt$, $3vt$, а радиусы сферических волн будут соответственно равны at , $2at$, $3at$. При скорости потока, меньшей скорости звука, $v < a$, получается система волн – рис. 3.

Сопротивление воздуха для тела произвольной формы будет содержать следующие факторы: размер тела, характеризующийся его средним диаметром d ; скорость поступательного движения тела v ; вязкость воздуха, характеризующаяся коэффициентом вязкости μ ; массовая плотность воздуха ρ ; скорость звука в воздухе a .

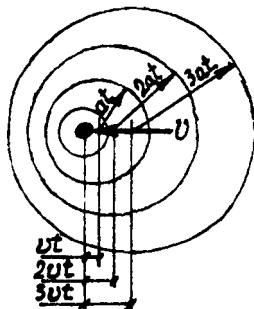


Рис. 3. Распространение волн при скорости меньшей скорости звука

Тогда формула силы сопротивления воздуха в общем виде будет $R = f(d, v, \rho, \mu, a)$, где форма тела учитывается видом функции f . Приведём эту зависимость к более удобному виду $R = S \frac{\rho v^2}{2} C_x \left(\frac{vd}{\nu}, \frac{v}{a} \right)$. Функция лобового сопротивления C_x , зависит от двух факторов: числа Рейнольдса $Re = vd / \nu$ и числа Маха $Ma = v/a$.

При скорости менее 200 м/с число Рейнольдса на сопротивление воздуха влияет незначительно и можно записать $R = S \frac{\rho v^2}{2} C_x \left(\frac{v}{a} \right)$. Вид функции C_x зависит от формы тела и определяется испытанием тел различных форм, из которых $C_{x,sp}(v/a) = i C_x(v/a)$.

Вид функции C_x для тел округлой формы представлен на рисунке 4.



Рис. 4. Зависимость функции C_x от выражения v/a

Совместные испытания способа распределения сыпучих материалов по поверхности поля с Запорожским научно-исследовательским конструкторским и технологическим институтом машиностроения (НИКТИМ сельхозмаш) привела к созданию машины СТТ-10 (сеялка тракторная туковая грузоподъёмностью 10 тонн), превосходящая по точности распределения сыпучих материалов известные машины в мире. Неравномерность распределения минеральных удобрений составила 11–15 %.

Исследованные нами способ и устройство позволяют снизить эту неравномерность до 1,0 – 4,5 %. Эти результаты получены в лабораторно-полевых условиях заменой рабочего органа машины СТТ-10 экспериментальным [1].

ЛИТЕРАТУРА

1. Протасеня, М.Л., Ларченков, Л.В. Способ и устройство для рассева сыпучего материала по поверхности поля / М.Л. Протасеня, Л.В. Ларченков. – Патент № 6659 РБ. – 2004. – 5 с.
2. Ларченков Л.В. и др. Теория движения структурного тела силами трения / Л.В. Ларченков, М.Л. Протасеня, И.О. Протасеня, Ю.В. Ларченкова. – Мн., ОИМ НАН РБ «Инновации в машиностроении». – 2008. – 234-241 с.
3. Вентцель Д.А., Окунев Б.Н., Шапиро Я.М. Внешняя баллистика / Д.А. Вентцель, Б.Н. Окунев, Я.М. Шапиро. – Л.-М. – 1933. – 379 с.
4. Фабрикант Н.Я. Аэродинамика, ч.1 / Н.Я. Фабрикант. – Л. – 1949. – 624 с.
5. Угинчус А.А. Гидравлика, гидравлические машины и основы сельскохозяйственного водоснабжения. Гл. 5 / А.А. Угинчус. – К. – М. – 1957. – 251 с.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КРИТЕРИЙ ПРОЧНОСТИ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Анализ известных критериев прочности, учитывающих неодинаковую сопротивляемость материалов при растяжении и сжатии, выявил ряд существенных недостатков этих критериев, основным из которых является ограничение области их применения /1/.

Предлагаемый новый энергетический критерий прочности является более общим и охватывает почти все известные энергетические критерии. Он основан на предположении, что энергия предельного напряжённого состояния является функцией величин нормального и касательного октаэдрических напряжений. При выводе гипотез прочности исследователи предполагают, что прочность материала зависит от напряжённого состояния, а условия прочности в общем виде могут быть представлены /1/:

$$F(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, m_i) = A. \quad (1)$$

Константы материала m_i определяются по результатам испытаний при простейших нагружениях путём совместного решения системы уравнений (1). Для большинства гипотез число определяемых констант не превышает трёх. Поэтому они определяются из испытаний при кручении и одноосном растяжении и сжатии.

Предлагаемый критерий представляет собой частный случай зависимости (1) и имеет вид:

$$BV + (1 + B_1 \text{sign} V) \cdot U = C, \quad (2)$$

где $V = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3$ – величина, пропорциональная первому инварианту тензора напряжений $U = (\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2$ – величина, пропорциональная второму инварианту тензора напряжений

B , B_1 и C – постоянные, величины, которых определяются на основании результатов экспериментов при кручении, одноосном растяжении и сжатии.

В выражении (2) $\text{sign} V$ означает, что знак перед постоянной B_1 , соответствует знаку величины V . Знак перед постоянной B_1 определяет неравноценность предела прочности на сдвиг материала в области сжатия и в области растяжения.

При линейном растяжении

$$V = \sigma_{\text{вр}}; U = 2\sigma_{\text{вр}}^2. \quad (3)$$

$\sigma_{\text{вр}}$ – предел прочности материала при одноосном растяжении.

Следовательно, критерий (2) с учётом условий (3) может быть представлен в виде:

$$B\sigma_{\text{вр}} + 2(1 + B_1)\sigma_{\text{вр}}^2 = C \quad (4)$$

$$V = -\sigma_{\text{сж}}; U = 2\sigma_{\text{сж}}^2 \quad (5)$$

$\sigma_{\text{сж}}$ – предел прочности материала при одноосном сжатии.

Критерий (2) с учётом условий (5) будет иметь следующий вид:

$$-B\sigma_{ec} + 2(1 - B_1)\sigma_{ec}^2 = C. \quad (6)$$

При чистом сдвиге, определяемом при испытании материалов на кручение:

$$V = 0; U = 6\tau_s^2, \quad (7)$$

τ_s – предел прочности при сдвиге.

С учётом условий (7) критерий (2) может быть представлен в следующем виде:

$$6(1 \pm B_1)\tau_s^2 = C. \quad (8)$$

В выражении (8) постоянная B_1 может иметь знак как плюс так и минус, что связано с нулевым значением величины V , относительно которой выбирается знак перед постоянной B_1 .

В первом случае выражение (8) будем рассматривать с положительным значением постоянной B_1 .

Поэтому, рассматривая совместно выражение (4), (6) и (8) находим значение постоянных B , B_1 , C .

$$B = \frac{4\sigma_{ec}^2(3\nu_\tau\tau_s - \sigma_{ep})}{3\tau_s^2(1 + \frac{1}{\nu}) + \sigma_{ec}^2 - \sigma_{ep}\sigma_{ec}};$$

$$B_1 = \frac{\sigma_{ec}^2 + \sigma_{ep}\sigma_{ec} - 3\tau_s^2(1 + \frac{1}{\nu})}{3\tau_s^2(1 + \frac{1}{\nu}) + \sigma_{ec}^2 - \sigma_{ep}\tau_{ec}};$$

$$C = \frac{12\sigma_{ec}^2\tau_s^2}{3\tau_s^2(1 + \frac{1}{\nu}) + \sigma_{ec}^2 - \sigma_{ep}\tau_{ec}},$$

$$\text{где } \nu = \frac{\sigma_{ep}}{\sigma_{ec}}; \nu_\tau = \frac{\tau_s}{\sigma_{ep}};$$

Подставив значения постоянных B , B_1 и C в критерий (2) получим:

$$2\sigma_{ec}^2(3\nu_\tau\tau_s - \sigma_{ep})V + \sigma_{ec}^2U = 6\sigma_{ep}^2\tau_s^2. \quad (9)$$

Сравнение напряжённых состояний проводят с напряжённым состоянием данного материала легко осуществимого в экспериментальных условиях. Это напряжённое состояние называется эквивалентным. В качестве эквивалентного напряжения выбирают напряжение при одноосном растяжении. Рассматривая совместно выражения (4), (6) и (8) и принимая, что $\sigma_{ep} = \sigma_{экв}$ получим следующую формулу эквивалентности:

$$\sigma_{экв} = \frac{3\nu_\tau^2 - 1}{6\nu_\tau^2}V + \sqrt{\left(\frac{3\nu_\tau^2 - 1}{6\nu_\tau^2}\right)^2 V^2 + \frac{1}{6\nu_\tau^2}U} \quad (10)$$

Рассмотрим случай, когда в выражение (8) величина B_1 входит с отрицательным знаком

Рассматривая аналогично выражение (4), (6) и (8) и принимая, что $\sigma_{вр} = \sigma_{экв}$ получим следующую формулу эквивалентности:

$$\sigma_{экв} = \frac{1 - 3\nu^2\nu_\tau^2}{6\nu\nu_\tau^2}V + \sqrt{\left(\frac{1 - 3\nu^2\nu_\tau^2}{6\nu\nu_\tau^2}\right)^2 V^2 + \frac{1}{6\nu_\tau^2}U}. \quad (11)$$

Формула эквивалентности (10) справедлива в случае, если величина V положительна, а выражение (11) справедливо, если величина V отрицательна.

Анализируя формулы эквивалентности (10) и (11) нетрудно заметить, что для пластич-

ных материалов $\nu=1$, $\nu_\tau = \frac{1}{\sqrt{3}}$ они приводятся к формуле эквивалентности Губера-Мизиса-

Генки /2/, которая широко используется в инженерных расчётах на прочность. Дальнейший анализ показывает, что если между величинами ν и ν_τ существует соотношение равное

$\nu_\tau = \frac{1}{\sqrt{3\nu}}$, то обе формулы эквивалентности будут соответствовать формуле эквивалентности

П.П. Баландина /3/. Поэтому как критерий П.П. Баландина, так и критерий Губера-Мизиса-Генки являются частными случаями предложенного критерия прочности.

Предложенный энергетический критерий прочности представляет собой функцию напряжений и не зависит от деформаций. Для хрупких материалов он является условием прочности, а для пластичных материалов – условием пластичности. Расчёты с использованием данного критерия хорошо согласуются с результатами эксперимента.

В пространстве предложенный критерий представляет собой предельную поверхность в виде двух пересекающихся между собой параболоидов вращения, сопряжённых между собой в окрестности зоны, в которой октаэдрические касательные напряжения равны нулю. Параболоид вращения закрыт со стороны области растяжения и открыт со стороны области сжатия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лебедев, А.А. Расчёты на прочность при сложном напряжённом состоянии. Киев – 1968г. – 65с. 2. С.Д. Пономарёв, В.Л. Бидерман, К.И. Лихарев и др. Расчёты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз. – 1956г. – т.1 – 476с. 3. Г.С. Писаренко, В.А. Агарёв, А.Л. Квитка и др. Сопротивление материалов. – Киев – Техника – 1967г. – 790с.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В условиях рыночной экономики фирма-производитель, поставляющая свои товары за рубеж, не может длительное время занимать устойчивые позиции, опираясь в своей стратегии только на показатели конкурентоспособности товара. Требуется уже оценка конкурентоспособности производителя, а не отдельного товара [1, с. 77].

В настоящее время отсутствует общепринятая методика оценки конкурентоспособности организации [2, с. 257].

Методика оценки конкурентоспособности организации, предложенная **Фатхутдиновым Р.А.**, заключается в следующем:

- уровень конкурентоспособности считать как средневзвешенную величину по показателям конкурентоспособности конкретных товаров на конкретных рынках;
- отдельно проводить анализ эффективности деятельности организации исходя из конкурентоспособности и эффективности каждого товара на каждом рынке;
- отдельно считать показатель устойчивости функционирования организации;
- прогнозировать перечисленные три комплексных показателя минимум на 5 лет [2, с. 261].

В работе **Шальминовой А.С.** [3] для оценки конкурентоспособности предприятия предлагается выбирать систему показателей эффективности производственной деятельности предприятия, финансового положения предприятия (2), эффективности организации сбыта и продвижения товара (3), конкурентоспособности товара (4) и эффективности инновационного проекта (5). Интегральный показатель конкурентоспособности автор получает методом теории желательности. Общий показатель конкурентоспособности (К) предприятия рассчитывается в виде средней геометрической взвешенной:

$$K = \sqrt{(a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5)} e_1^{a_1} \cdot e_2^{a_2} \cdot e_3^{a_3} \cdot e_4^{a_4} \cdot e_5^{a_5}, \quad (1)$$

где a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 — коэффициенты весомости показателей эффективности;

e_1, e_2, e_3, e_4, e_5 — частные показатели эффективности деятельности предприятия.

В данной методике учитывается большое число факторов, влияющих на конкурентный статус предприятия. Однако методика не лишена субъективизма, так как количественный показатель сначала субъективно переводится в качественный, а затем по шкале Харрингтона опять в количественный. Кроме того, если предприятие имеет абсолютно неприемлемый критерий по какому-либо показателю, то ему присваивается нулевое значение функции желательности. В этом случае из-за равенства нулю частной функции желательности уровень конкурентоспособности также равняется нулю. Достоверность оценки конкурентоспособности по данной методике в значительной степени зависит от квалификации эксперта и является во многом субъективным процессом, т.к. интегральный показатель рассчитывается с использованием весов, определяемых экспертами [4, с.53].

Воронов А.А. предлагает следующий вариант методики измерения конкурентоспособности продукции и предприятия:

1. Конкурентоспособность может быть только относительной – отношением параметров продукции одного предприятия к параметрам другого.

2. Интегральный показатель конкурентоспособности равен произведению частных показателей:

$$J_{12} = \alpha_{12} \cdot \beta_{12} \cdot \gamma_{12} \cdot \dots \cdot K_{12} \quad (2)$$

где α_{12} , β_{12} , γ_{12} – частные показатели конкурентоспособности продукции первого завода относительно второго.

3. При наличии нескольких (многих) предприятий, выпускающих однородную продукцию, по приведенной схеме могут быть вычислены интегральные показатели их относительной конкурентоспособности друг против друга, т.е. может быть построена матрица конкурентоспособности.

4. Конкурентоспособность производства в целом какого-либо предприятия – это среднеарифметическое или средневзвешенное от конкурентоспособности отдельных видов выпускаемой продукции:

$$J_{\text{пр}} = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m J_{i1} + \sum_{i=1}^m J_{i2} + \dots + \sum_{i=1}^m J_{im}}{m} + \frac{\sum_{j=1}^n J_{j1} + \sum_{j=1}^n J_{j2} + \dots + \sum_{j=1}^n J_{jn}}{n} + \dots + \frac{\sum_{k=1}^r J_{k1} + \sum_{k=1}^r J_{k2} + \dots + \sum_{k=1}^r J_{kr}}{r}}{P}, \quad (3)$$

где $J_{\text{пр}}$ – конкурентоспособность предприятия относительно конкурентов. J_{i1} – относительная конкурентоспособность i -й продукции предприятия против продукции 1-го конкурента. m – количество конкурентов по i -й продукции. J_{j1} – относительная конкурентоспособность j -й продукции против продукции 1-го конкурента. n – количество конкурентов по j -й продукции. J_{k1} – относительная конкурентоспособность k -й продукции против продукции 1-го конкурента. r – количество видов продукции на данное предприятие. P – количество конкурентов.

Другой способ:

$$J_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^m \left(\frac{J_{i1} + J_{i2} + \dots + J_{im}}{m} \right) V_i + \sum_{j=1}^n \left(\frac{J_{j1} + J_{j2} + \dots + J_{jn}}{n} \right) V_j + \dots + \sum_{k=1}^r \left(\frac{J_{k1} + J_{k2} + \dots + J_{kr}}{r} \right) V_r}{V_i + V_j + \dots + V_r}, \quad (4)$$

где J_{11} , $J_{12} \dots J_{jm}$; J_{j1} , $J_{j2} \dots J_{jn}$; J_{k1} , $J_{k2} \dots J_{kr}$ – то же, что и в предыдущей формуле; m , n , r – то же, что и в предыдущей формуле; V_i , $V_j \dots V_r$ – объемы продукции i -го, j -го, ..., r -го вида продукции, выпускаемой на анализируемом предприятии [5, с.38].

У данного метода есть свои недостатки. Рассмотрение предприятия как совокупности выпускаемых им видов продукции в какой-то мере упрощено. Такой подход не учитывает других сфер функционирования предприятия, таких как управление персоналом, разнообразные инновации, НИОКР, производимые предприятием и т.д. Вместе с тем он позволяет дать с наибольшей точностью (по сравнению с другими подходами) представление о возможности предприятия конкурировать на рынке, т. е. о его конкурентоспособности [5, с 25].

В соответствии с законом сравнительных преимуществ страна специализируется на производстве и экспорте тех товаров, которые ей обходятся относительно дешевле, и импорте тех, которые в других странах сравнительно дешевле, чем внутри страны.

Непосредственно измерить сравнительные преимущества невозможно, поэтому предложено несколько косвенных методов. Одним из наиболее часто используемых служит метод, построенный на предположении: чем ниже издержки производства в отрасли, тем большими преимуществами обладает отрасль по отношению к конкурентам [1, с. 77].

Самостоятельное направление исследований составляют методы оценки конкурентоспособности производителя, базирующиеся на теории равновесия фирмы и отрасли А. Маршалла и теории факторов производства. Под равновесием понимается такое состояние, когда у производителя не существует стимулов для перехода в другое состояние, т.е. для изменения объема производства (изменения своей доли на рынке).

Возможность для расширения выпуска продукции появляется в том случае, когда какой-нибудь фактор производства используется не полностью и существующие масштабы производства не обеспечивают минимума издержек. Критерием же конкурентоспособности в рамках данной модели служит наличие у производителя таких факторов производства, которые могут быть использованы с лучшей, чем у других конкурентов, производительностью [1, с. 78].

Другой способ оценки конкурентоспособности фирмы – это оценка конкурентоспособности производителя по качеству продукции, который осуществляется "методом профилей". Выявляются различные критерии удовлетворения запросов потребителей применительно к какому-либо продукту, устанавливается их иерархия и сравнительная важность в пределах того спектра характеристик, которые в состоянии заметить и оценить потребитель, проводится сравнение технико-экономических данных продукта с другими конкурирующими продуктами.

Все методы этой группы не содержат простых и однозначных критериев, которые позволяли бы дать оценку конкурентоспособности производителя. Если практические цели экономических исследований дают возможность построить и вычислить сравнительные показатели для одного или нескольких товаров, то в случае диверсифицированного производства такие расчеты становятся технически и экономически нецелесообразными [1, с. 80].

Особое место занимают матричные методы оценки уровня конкурентоспособности. Они основаны на идее рассмотрения процессов конкуренции в динамике. Теоретической базой этих методов служит концепция жизненного цикла товара и технологии. Главным инструментом исследования служит матрица, построенная с использованием двух показателей. По вертикали отмечаются темпы роста емкости рынка в линейном масштабе, а по горизонтали – относительная доля продуцента на рынке в логарифмическом масштабе. Все стратегические единицы бизнеса могут быть расположены на этой матрице в зависимости от своих характеристик и условий рынка. Наиболее конкурентоспособными будут те, которые занимают значительную долю на быстрорастущем рынке.

Конкурентоспособность производителя (фирмы, отрасли) можно определить как относительную характеристику, отражающую отличия процесса развития данного производителя от производителя-конкурента как по степени удовлетворения своими товарами или услугами конкретной общественной потребности, так и по эффективности производственной деятельности.

Общий показатель уровня конкурентоспособности производителя в общем виде определяется по следующей формуле:

$$K_n = I_T \cdot I_z, \quad (5)$$

где K_n – общий показатель конкурентоспособности производителя;

I_T – индекс конкурентоспособности по товарной массе;

I_z – индекс относительной эффективности (для его определения могут использоваться различные показатели, рис. 1).

Показатель K_n является интегральной численной характеристикой конкурентоспособности продуцента. Если $K_n < 1$, то рассматриваемая фирма уступает другой компании по конкурентоспособности, если $K_n > 1$, то превосходит; при равной конкурентоспособности $K_n = 1$ [1, с. 82].

Данная методика наиболее полно отражает сущность понятия «конкурентоспособность предприятия». Однако она является достаточно трудоёмкой в расчётах и сборе данных о деятельности компаний-конкурентов, что затрудняет её практическое применение.

Интенсивность и конкретные формы конкурентной борьбы между прямыми соперниками на рынке варьируют в зависимости от характера конкретной ситуации. Она отражает степень взаимозависимости конкурентов, возникающей на конкретном рынке в результате их действий.

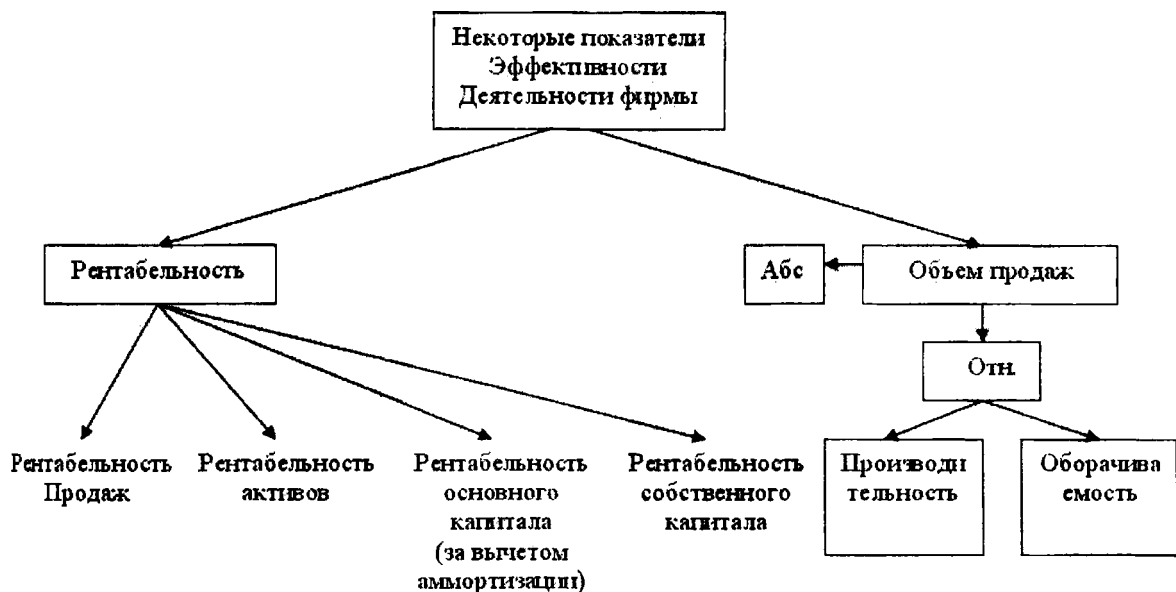


Рис. 1. Некоторые показатели эффективности деятельности фирмы

Одним из важнейших вопросов анализа конкурентоспособности фирмы Ж.-Ж. Ламбен считает анализ реакций конкурентов, методика проведения которого рассматривается ниже.

Матрица конкурентных реакций, как отмечает Ж.-Ж. Ламбен, — удобный инструмент предвидения, а выбор позиции по отношению к конкурентам занимает центральное место в любой стратегии.

В условиях олигопольного рынка необходима система слежения за конкуренцией, которая формируется после ответа на четыре основных вопроса:

- Каковы основные цели конкурента?
- Какова его текущая стратегия для достижения этих целей?
- Какими средствами располагают конкуренты, чтобы реализовать свою стратегию?
- Каковы их вероятные будущие стратегии?

Ответы на первые три вопроса должны обеспечить исходные данные для предвидения будущих стратегий. Анализ совокупности сведений по указанным четырем областям дает достаточно полную картину действий конкурентов. Многие фирмы оценили важность анализа конкуренции и выделяют средства для сбора необходимой информации [7, с. 158].

Более полную оценку конкурентного статуса предприятия позволяют получить методы, базирующиеся на теории эффективной конкуренции. Согласно этой теории более конкурентоспособными являются те предприятия, где наилучшим образом организована работа всех его подразделений и служб. На эффективность деятельности каждой из служб оказывает влияние множество факторов - ресурсов фирмы. Оценка эффективности работы каждого из подразделений предполагает оценку эффективности использования им этих ресурсов.

В рамках теории эффективной конкуренции существует два основных подхода к определению критерия конкурентоспособности: структурный и функциональный.

Согласно структурному подходу, оценка положения может быть сделана исходя из знания уровня монополизации отрасли.

Вторым подходом в определении конкурентоспособности служит функциональный подход. Главную роль здесь играют экономические показатели деятельности фирм: соотношение издержки-цены, загрузка производственных мощностей, объемы выпуска продукции, норма прибыли и т.д. Данный метод позволяет в определенных пределах строить заключения относительно всей отрасли. Функциональный метод позволяет оценить конкурентоспособность отдельных предприятий или групп, являющихся составными частями фирм.

Методы, базирующиеся на теории эффективной конкуренции, характеризуют не только рыночную составляющую конкурентоспособности, а дают и комплексную характеристику конкурентоспособности предприятия, так как они учитывают факторы, формирующие экономические условия производства и сбыта продукции, его финансовое положение, конкурентоспособность продукции, что существенно повышает результативность проведенных исследований [1, с. 79].

Для оценки конкурентоспособности машиностроительного предприятия **Костин И.М. и Фасхиев Х.А.** [8] предложили принять следующие 6 групп показателей:

- финансово-хозяйственной деятельности;
- производственные;
- качества;
- развития;
- персонала и социальной сферы;
- уровня совершенства управления.

Интегральный показатель конкурентоспособности предприятия рассчитывается по формуле:

$$K = (Y_1 / 2 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_{n-1} + Y_n / 2) / (n - 1), \quad (6)$$

где n – число показателей;

$Y_1, Y_2, Y_3, \dots, Y_{n-1}, Y_n$ – значения показателей конкурентоспособности, рассчитываемые по следующим формулам:

$$Y_1 = P_i / P_{i \max}, \quad (7)$$

$$Y_i = (P_{i \max} - P_i) / P_{i \max}, \quad (8)$$

где P_i – значение i -того показателя; $P_{i \max}$ – максимальное значение i -того показателя среди сравниваемых объектов, или принятый нормативный показатель.

По данной методике сравнительная оценка конкурентоспособности предприятий отрасли требует наличия большого объема информации, часть которой является конфиденциальной. При отсутствии данных отдельные показатели могут быть исключены из списка, при этом достоверность оценки несколько снижается.

Однако приведенный метод позволяет управлять конкурентоспособностью предприятия. Для этого необходимо периодически проводить расчеты конкурентоспособности за предыдущие периоды, планировать значение интегрального показателя на будущий период. Интегральный показатель конкурентоспособности целесообразно ввести в стратегический и в текущий бизнес-планы предприятия, увязывать его динамику с вознаграждением высшего руководства предприятия по результатам года.

Таким образом, на основе анализа вышеизложенного материала для оценки конкурентоспособности предприятия предлагается использовать метод, в котором конкурентоспособность производителя можно определить как комплексное понятие, характеризующее способность предприятия быть лучше предприятий-конкурентов данной отрасли внутри страны и за её пределами как по степени удовлетворения своими товарами (услугами) конкретной потребности, так и по эффективности производственно-хозяйственной деятельности. Для этого при расчете конкурентоспособности предприятия предлагается использовать следующую формулу:

$$K_n = I_T \cdot I_3, \quad (5)$$

где K_n — общий показатель конкурентоспособности производителя;

I_T – индекс конкурентоспособности товара;

I_ε — индекс относительной эффективности.

Индекс конкурентоспособности товара определяется отношением параметров продукции одного предприятия к параметрам другого, с учетом их весомости и рассчитывается по формуле:

$$I_T = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (9)$$

$$\text{где } \sum a_i = 1$$

a_i – весомость i -го показателя.

q_i – индивидуальные индексы параметров продукции.

Индивидуальные индексы параметров продукции рассчитываются по формулам:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i0}}, \quad (10)$$

$$\text{или } q_i = \frac{P_{i0}}{P_i}, \quad (11)$$

где P_i и P_{i0} величины частных показателей для исследуемого товара и товара конкурента. Формула (10) применяется для прямых, а формула (11) для обратных показателей. Прямыми называются показатели, с ростом значений которых конечный результат улучшается, а для обратных – уменьшается.

Для расчёта индекса относительной эффективности применяются показатели финансово-хозяйственной, производственной, маркетинговой деятельности, качества, развития персонала, уровня управления. Показателем, который наиболее полно охватывает эффективность работы предприятия, является рентабельность продаж. Использование в качестве индекса относительной эффективности рентабельности продаж позволит охватить наиболее значимые аспекты деятельности предприятия при небольших временных затратах на сбор информации и вычисления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Международный маркетинг/ Г.Л. Багиев, Н.К. Моисеева, С.В. Никифорова. – СПб., 2001. – 509с.
2. Фатхутдинов Р.А. Стратегическая конкурентоспособность. – М.: Экономика, 2005. – 504 с.
3. Шальмина А.С. Инновационное бизнес-планирование развития приоритетной отрасли// Автореф. диссертации к-та. экон. наук. – Казань: Изд-во. КФЭИ, 2000.
4. Фасхиев Х. А. Как измерить конкурентоспособность предприятия? // Маркетинг в России и за рубежом. - 2003. - № 4. - с.53-68.
5. Конкурентоспособность предприятия в современных условиях хозяйствования/ А.А. Воронов. – Краснодар: КГУ, 2000. – 194 с.
6. Портер М.Е. Международная конференция: Пер. с англ./ Под ред. В.Д. Щетинина. – М.: Международные отношения. 1993.
7. Фатхутдинов Р.А. Стратегический менеджмент. – М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез», 1998. – 536 с.
8. Костин И.М., Фасхиев Х.А. Измерение конкурентоспособности предприятий/ Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Менеджмент организации XXI века» - Наб. Челны: КамПИ, 2001. – с.115-117.

АНАЛИЗ ПУТЕЙ СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ НА СОЗДАНИЕ И ПОДДЕРЖКУ ВЕБ-САЙТА КОМПАНИИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Изменения, происходящие в мировой экономике, требуют от компаний точных и взвешенных решений, использования любых возможностей для сохранения и развития деловой активности, предполагают разработку новых подходов к производственно-коммерческой деятельности. Очевидно, что в условиях жесточайшей конкуренции не следует пренебрегать уникальными возможностями, которые открывает перед компанией сеть Интернет, в том числе, и по поиску потенциальных партнеров и инвесторов. Возможности Интернет для бизнеса действительно безграничны, особенно когда требуется высокая скорость принятия решений. Сеть Интернет открывает перед компанией широкие возможности оперативно изучать потребности потенциальных клиентов, организовывать эффективную обратную связь с ними и автоматизировать процесс их обслуживания, без излишних затрат предоставляя требуемый сервис круглые сутки. Кроме того, что чрезвычайно важно в ситуации современной нестабильности, Интернет позволяет, быстро и гибко уточнять маркетинговые планы и рекламные проекты в соответствии с меняющейся экономической ситуацией.

Развитие сети Интернет показывает, что основным способом ведения бизнеса и инструментом взаимодействия компании с рынком является веб-сайт - инструмент перспективный и не требующий больших затрат для его реализации. Специалисты отмечают, что в последние годы веб-сайт стал эффективным инструментом маркетинга, обладающим существенными преимуществами по сравнению с традиционными маркетинговыми каналами:

- а) низкая стоимость (предполагает снижение затрат на рекламу, телефонных переговоров, пересылку факсов, на представление необходимой информации для пред- и послепродажной поддержки потребителей и т.д.);
- б) высокая скорость обмена информацией.

Сейчас трудно представить, что современная компания не имеет веб-сайта, представляющего продукцию и услуги компании. Большинство компаний, создавая веб-сайт, преследуют следующие цели:

- повышение имиджа торговой марки компании;
- продвижение товаров и услуг компании;
- поиск новых потребителей товаров и услуг;
- организация нового канала сбыта товаров и услуг;
- сервисное обслуживание и поддержка потребителей;
- расширение системы связей с общественностью;
- обеспечение потребителей, партнеров полной и актуальной информацией о компании и товарах;
- обеспечение роста рейтинга компании;
- снижение накладных расходов;
- создание возможностей поиска и нахождения новых партнеров и заказчиков;
- расширение территории ведения бизнеса;
- реклама товаров и услуг.

Тем не менее, значительное число компаний обнаруживают формальный подход к созданию веб-сайта, когда предпочтение отдается традиционным методам работы, а интернет-проект создается лишь для отчета перед вышестоящими органами. Такой подход лишает компанию важного конкурентного преимущества.

Анализ сайтов зарубежных и отечественных компаний показывает, что для любой компании в зависимости от масштабов и стадии жизненного цикла, можно выбрать наиболее подходящий вариант представительства в сети Интернет (таблица 1).

В самом общем виде полезным для компании можно считать такой веб-сайт, который:

- дает полное представление о предлагаемых товарах и услугах;
- в состоянии довести до посетителей преимущества и выгоды именно этих товаров и услуг (проблемы, которые они могут решить с их помощью);
- позволяет быстро найти конкретную информацию о характеристиках конкретного товара;
- предоставляет ясную информацию о способах заказа и оплаты товара.

Таблица 1 – Классификация веб-сайтов

Задачи	Особенности	Применение
Сайт-визитка		
Брэнддинг (продвижение торговой марки компании)	Сайт содержит общую информация о компании, план проезда, реквизиты, прайс-лист и т.п.	Применяется, если компания реализует свою продукцию только в off-line, и не имеет собственного бизнеса в сети Интернет
Каталог (сайт-витрина)		
Реклама и брэнддинг товаров	Содержит страницы-каталоги товаров с подробным их описанием, а также систему формирования заказов	Применяется, если у компании есть возможность реализации товаров в сети Интернет с предоставлением подробного мультимедийного описания своих продуктов
Электронный магазин		
Продажа товаров через Интернет; автоматизация бизнес-процессов	Сайт включает каталог товаров, систему формирования заказов, интегрированную в автоматизированную систему компании, что позволяет уменьшить затраты на обслуживание заказов	Применяется в случаях, когда прогнозируемый объем продаж достаточно высок
Промо-сайт		
Проведение рекламных акций	Сайт имеет множество вариантов построения с яркой динамичной структурой	Создаются в рамках проведения глобальной off-line рекламной кампании
Информационный сайт		
Предоставление информации клиенту о деятельности фирмы	Сайт является электронным эквивалентом энциклопедий или специализированных журналов	Оптимален для компаний с множеством потенциальных клиентов online, у которых должна быть реальная потребность постоянно (а не единовременно) обращаться к этой информации
Корпоративное представительство		
Полная автоматизация деятельности компании	Сайт содержит отдельные элементы систем заказов или Интернет-магазина, коммуникационные сервисы (с возможностью персонализации)	Рекомендуется для больших компаний с огромной клиентской базой, разветвленной дилерской сетью и т.д.
Портал		
Объединение большого объема информационных ресурсов; обеспечение доступа к различным внутрикорпоративным приложениям с предоставлением посетителям возможности заказа или покупки товара	Портал предоставляет исчерпывающую информацию о предметной сфере деятельности компании, а также хорошие возможности для организации продаж, проведения PR-акций, брэндинга и других маркетинговых мероприятий	Рекомендуется для больших компаний с огромной клиентской базой, разветвленной дилерской сетью, бизнес которой не может существовать вне сети Интернет

Независимо от выбранного варианта при разработке сайта необходимо придерживаться определенной последовательности этапов (таблица 2), на каждом из которых потребуются финансовые вложения, иногда весьма значительные.

Таблица 2 – Этапы создания сайта

Название этапа	Мероприятия
Этап 1 Определение целей и задач, укрупненное планирование.	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработка концепции проекта 2. Маркетинговые исследования 3. Определение целевого сегмента потребителей 4. Определение технического задания 5. Определение исполнителей проекта 6. Составление финансового плана
Этап 2 Реализация сайта	<ol style="list-style-type: none"> 1. Разработки содержания веб-страниц 2. Разработки дизайна веб-страниц 3. Первоначальное тестирование 4. Выбор провайдера 5. Выбор хостинга 6. Выбор доменного имени 7. Поддержка и обновление сайта
Этап 3 Продвижение сайта	<ol style="list-style-type: none"> 1. Рассылки. 2. Организация "сообщества" 3. Баннерная реклама 4. Off-line реклама 5. Поисковая оптимизация
Этап 4 Оценка экономической эффективности	<ol style="list-style-type: none"> 1. Оценка эффективности продвижения сайта 2. Оценка экономической эффективности 3. Оценка интеграции сайта с бизнес-процессами компании

Результаты анализа ценовых предложений отечественных и зарубежных студий веб-дизайна по разработке различных видов сайтов приведены в табл.3. Как видно, предложения могут колебаться от нескольких сотен до тысяч долларов. При этом не следует обольщаться кажущейся дешевизной разработки, так как зачастую многие креативные виды работ не входят в основной прайс и оплачиваются дополнительно. К тому же эксперты отмечают, что стоимость создания сайта составляет всего 30% общих затрат, а 70% приходится на затраты по его продвижению и поддержке в течение жизненного цикла.

Таблица 3 – Ценовые предложения по созданию сайтов

Вид сайта	Задачи	Стоимость, \$
Сайт-визитка	Продвижение торговой марки компании	От 450-600
Каталог (сайт-витрина)	Реклама и брэндинг товаров	От 500-800
Электронный магазин	Продажа товаров через Интернет; автоматизация бизнес-процессов	От 900-2000
Промо-сайт	Проведение рекламных акций	От 700-900
Информационный сайт	Предоставление информации клиенту о деятельности фирмы	От 500-650
Корпоративное представительство	Полная автоматизация деятельности компании	От 800-1500
Портал	Объединение большого объема информационных ресурсов; обеспечение доступа к различным внутрикорпоративным приложениям с предоставлением посетителям возможности заказа или покупки товара	От 2000
* Без учета затрат на поддержку сайта		

В настоящее время наблюдается следующая тенденция: компании осознают необходимость создания и поддержки веб-сайта, стараются, в отличие от прошлых лет, уделять большее внимание грамотному инвестированию интернет-проектов, но при этом, как и ранее, стремятся вкладывать минимум средств. По мнению многих специалистов, экономия при создании и поддержке сайта возможна, но она может повлечь за собой существенное снижение отдачи от сайта на этапах его жизненного цикла (рис.1).

Очевидно, что размер экономии на этапах создания и продвижения сайта (область 1), значительно меньше затрат на этапах его обслуживания и эксплуатации (область 2).

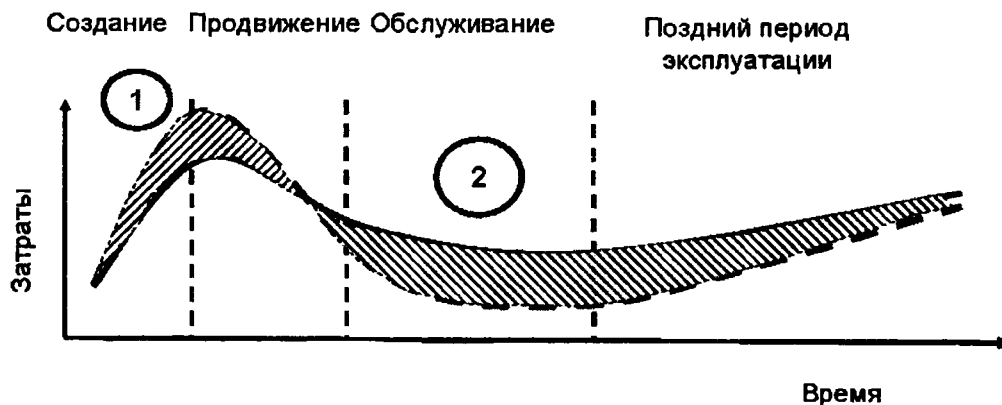


Рис. 1. Соотношения затрат на стадиях жизненного цикла сайта

Естественно, что в сложных экономических условиях, возникает необходимость проанализировать пути разумной экономии средств на возможных статьях затрат:

1. Маркетинговые исследования..
2. Определение исполнителей проекта.
3. Разработка окончательного вида сайта.
4. Выбор провайдера.
5. Поддержка и обновление сайта.
6. Реклама.

Маркетинговые исследования являются неотъемлемой частью разработки веб-сайтов. В истории бизнеса известно немало примеров, когда целые финансовые империи разрушались из-за невнимания к такому важнейшему инструменту. Однако не все компании могут позволить себе такую роскошь, как перманентные маркетинговые исследования. Для этого необходим постоянный штат высококлассных (а это значит и высокооплачиваемых) специалистов. Именно поэтому во всем мире принято заказывать проведение маркетинговых исследований профессионалам, что позволяет экономить средства. Есть и второй вариант, позволяющий сэкономить: действуя на свой страх и риск, произвести самостоятельные интернет-исследования, результаты которых будут, возможно, недостоверны.

С точки зрения экономии следует обратить особое внимание на выбор исполнителей проекта. Несмотря на то, что крупные студии разработки сайтов стараются убедить интернет-сообщество, что в одиночку сайт сделать невозможно, количество обращений к фрилансерам очень высоко. Причины этого кроются в том, что услуги фрилансеров значительно дешевле (даже если над сайтом работает группа фрилансеров), а качество работ не уступает студийному, а порой и превосходит по некоторым параметрам. Правда, рассчитывать на то, что у приличного фрилансера будет бросовая цена, все же не стоит. Справедливости ради, надо заметить, что действительно существуют проекты, которые под силу выполнить только большому коллективу сотрудников. Но таких проектов в сети не так много. Обращение к фрилансерам также несет некоторую неопределенность и долю риска, поскольку в качестве исполнителя может выступать не только профессионал, но и «начинающий» веб-дизайнер.

Таким образом, при выборе исполнителей проекта необходимо исходить из целей, которые преследуются при создании сайта, и из объемов предполагаемых работ. Так, если требуется разработать сайт для крупной фирмы, загрузить множество информационного материала, обработать сотни или даже тысячи изображений, то лучше обратиться в студию дизайнера с достаточным количеством сотрудников. Это удобно как с точки зрения документирования сотрудничества при письменном согласовании всех этапов работ, так и с точки зрения контроля над исполнением. Кроме того, стоит иметь в виду и необходимость оформления отчетности, в том числе и налоговой. Если же проект не требует немедленной обработки огромного количества материала и из отчетности требуется только сам сайт, отвечающий требованиям заказчика, то вариантов выбора разработчика уже больше. Можно и сэкономить, найти одного или нескольких фрилансеров, которые выполнят все необходимые работы.

При разработке окончательного вида сайта экономить не рекомендуется. Если же перед организацией встал вопрос об экономии на данном этапе создания сайта, то наилучший способ экономии - заказать шаблон сайта без наполнения его информацией и внести всю необходимую информацию самостоятельно. Такой вариант будет оправданной экономией без ущерба качеству сайта.

Важной статьей сокращения затрат является выбор провайдера. Рассмотрим же общие принципы выбора и обратим внимание на некоторые существенные моменты экономии. Необходимо определиться, что конкретно требуется в Интернет, поскольку именно цель пребывания определяет способ подключения, а значит и стоимость услуг провайдера. Если нужна только электронная почта в небольших объемах, и задержка в десятки минут не критична, можно смело подключаться к любому провайдеру по Dial-Up соединению, поскольку существующие каналы большинства провайдеров достаточны для надежного обмена электронной корреспонденцией. Это наиболее экономный способ использования Интернет, но на сегодняшний день он устаревает и уступает свое место xDSL-соединениям. Если кроме e-mail необходим и доступ в реальном режиме времени, требования к провайдеру резко возрастают. Эффективность работы будет зависеть от пропускной способности внешних каналов провайдера и их реальной загрузки абонентами. Но необходимо помнить, что чем выше скорость соединения, тем выше и его стоимость.

Поддержка сайта также имеет свои нюансы. Минимальная заработная плата веб-мастера составляет 300\$, при этом за данную сумму можно нанять человека лишь с минимальными знаниями, необходимыми для поддержки сайта. Зарплата специалиста более высокого уровня составляет от 500\$ в месяц. Кроме того, ему необходимо обеспечить рабочее место и стабильный доступ в Интернет. На данный момент в Интернет представлено множество фирм, которые профессионально поддерживают и обновляют информацию на сайте, причем тарифы на техническую поддержку колеблются от 25\$. до 150\$ в месяц для корпоративных сайтов. Даже самый дорогой тариф, включающий в себя неограниченное количество обновлений в месяц, стоит дешевле специалиста с минимальными знаниями. Поэтому, возможно, рекомендация доверять сайт специалистам из независимых фирм была бы уместна. Как правило, на таких фирмах работает штат сотрудников, ориентированных именно на данный вид услуги, и можно быть уверенным, что свежая информация будет добавлена на сайт вовремя и наилучшим образом.

Еще одна область экономии при создании сайта - финансирование рекламы интернет-проектов. Зачастую службы маркетинга вкладывают огромные (по сравнению с остальными статьями затрат) средства в неэффективную на сегодняшний день контекстную рекламу. Современный пользователь практически не замечает данный вид рекламы, поэтому предпочтительным вариантом, возможно, было бы размещение баннера на менее известном сайте с целевой аудиторией, чем вложение денег в контекстную рекламу в известных поисковых системах. Эксперты отмечают необходимость разумного вложения средств в SEO-оптимизацию сайта, которая может быть гораздо дешевле рекламы и обеспечить гораздо больший эффект.

Подводя итоги необходимо отметить, что современные условия требуют от производителя намного более широкой деятельности, чем просто разработка хорошего продукта, проведение приемлемой ценовой политики и доведение своей продукции до целевого сегмента рынка. Помимо этого компании должны активно общаться со своими реальными и потенциальными

ми клиентами, розничными торговцами, поставщиками, другими заинтересованными лицами и потребителями. С этой целью необходимо изучать и совершенствовать применение новых маркетинговых инструментов, в том числе и для работы с постоянно растущей интернет-аудиторией. Одним из таких инструментов и является веб-представительство компании в Интернет. Однако многие белорусские компании пока не могут превратить сайт в эффективный инструмент взаимодействия с рынком, чрезмерно сокращая затраты на создание, поддержку и развитие сайта. Тем не менее, нестабильность экономической ситуации заставляет уделять особое внимание анализу путей сокращения затрат на создание и поддержку веб-сайта компании, при которых не наблюдается снижения качества сайта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиссер Ю.А. Маркетинг on-line: как превратить сайт компании в эффективный инструмент продаж / Ю.А. Зиссер. – Минск: Изд-во Гревцова, 2007. – 304 с.
2. Уайт Т. Чего хочет бизнес от IT: Стратегия эффективного сотрудничества руководителей бизнеса и IT-директоров / Терри Уайт; пер. с англ. А.Н.Поплавская. – Минск: Гревцов Паблишер, 2007. – 256 с.
3. Разработка web сайтов, веб дизайн, цены на создание сайтов, стоимость дизайна в Ростове-на-Дону, Москве | Студия web-дизайна BondSoft [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.bondsoft.ru/>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Информ-С . Разработка сайтов, web-дизайн, продвижение сайтов (реклама в интернете), цены на создание сайта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.inform-s.com/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Создание веб (web) сайтов и продвижение интернет сайтов в Беларуси, раскрутка сайтов в Минске, разработка сайтов с уникальным дизайном. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cim.by/>, свободный. – Загл. с экрана.
6. Разработка, создание и продвижение сайтов в Минске, Гомеле, Могилёве, Витебске и др. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.medialine.by/>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 339.137.2

Плясунков А.В., Криволапова В.В.

АПРОБАЦИЯ УТОЧНЁННОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Для оценки конкурентоспособности предприятия предлагается использовать метод, в котором конкурентоспособность производителя можно определить как комплексное понятие, характеризующее способность предприятия быть лучше предприятий-конкурентов данной отрасли внутри страны и за её пределами как по степени удовлетворения своими товарами (услугами) конкретной потребности, так и по эффективности производственно-хозяйственной деятельности (рис. 1) [1].

Для этого при расчете конкурентоспособности предприятия предлагается использовать следующую формулу:

$$K_n = I_T \cdot I_\varepsilon, \quad (1)$$

где K_n — общий показатель конкурентоспособности производителя;

I_T — индекс конкурентоспособности товара;

I_ε — индекс относительной эффективности [2, с.82].

Показатель K_n является интегральной численной характеристикой конкурентоспособности продуцента. Если $K_n < 1$, то рассматриваемая фирма уступает другой компании по конкурентоспособности, если $K_n > 1$, то превосходит; при равной конкурентоспособности $K_n = 1$.

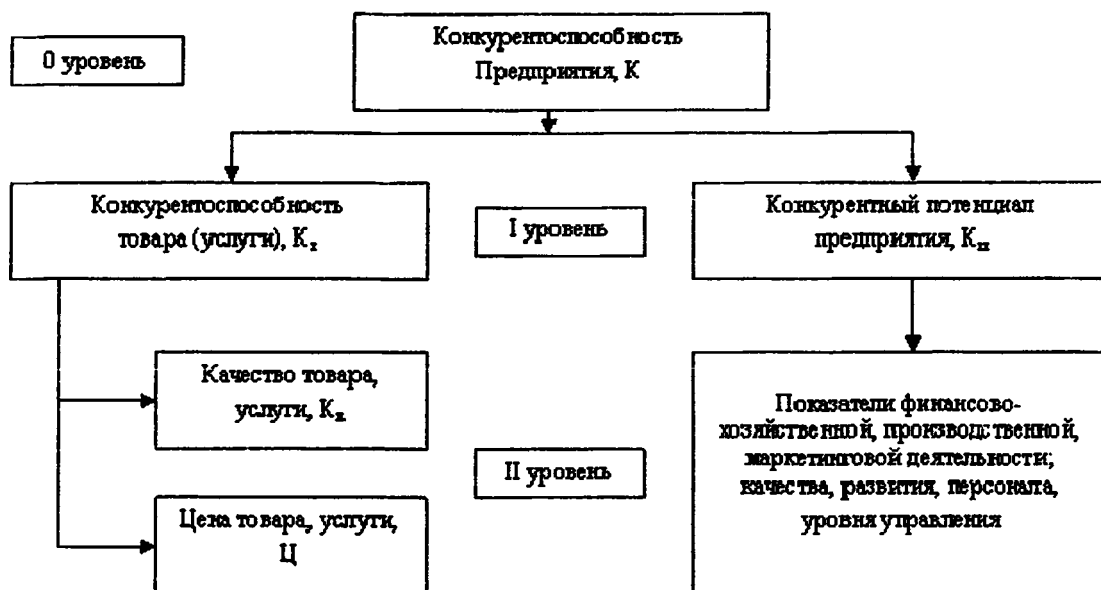


Рис. 1. Элементы, формирующие конкурентоспособность предприятия

Индекс конкурентоспособности товара определяется отношением параметров продукции одного предприятия к параметрам другого, с учетом их весомости и рассчитывается по формуле:

$$I_T = \sum_{i=1}^n q_i \cdot a_i, \quad (2)$$

где $\sum a_i = 1$

a_i – весомость i -го показателя.

q_i – индивидуальные индексы параметров продукции.

Индивидуальные индексы параметров продукции рассчитываются по формулам:

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i0}}, \quad (3)$$

$$\text{или } q_i = \frac{P_{i0}}{P_i}, \quad (4)$$

где P_i и P_{i0} величины частных показателей для исследуемого товара и товара конкурента. Формула (3) применяется для прямых, а формула (4) для обратных показателей. Прямыми называются показатели, с ростом значений которых конечный результат улучшается, а для обратных – уменьшается.

Для расчёта индекса относительной эффективности применяются показатели финансово-хозяйственной, производственной, маркетинговой деятельности, качества, развития персонала, уровня управления. Показателем, который наиболее полно охватывает эффективность работы предприятия, является рентабельность продаж. Использование в качестве индекса относительной эффективности рентабельности продаж позволит охватить наиболее значимые аспекты деятельности предприятия при небольших временных затратах на сбор информации и вычисления.

Таким образом, предложена усовершенствованная методика оценки конкурентоспособности предприятия, которая в отличие от существующих является относительно простой и од-

одновременно учитывает как конкурентоспособность товара, так и эффективность производственно-хозяйственной деятельности предприятия, что даёт экономию трудовых затрат при расчёте конкурентоспособности предприятия не снижая достоверность оценки.

Проведём расчет конкурентоспособности ОАО «МПЗ» относительно подшипников завода Чехии ZKL. На первом этапе определим конкурентоспособность продукции рассматриваемых предприятий. Для расчета индивидуальных индексов параметров продукции необходимо выделить частные показатели для исследуемого товара и товара конкурента.

Для анализа последних используем данные опроса среди специалистов ОБЭС. При этом рассмотрим, какие параметры (свойства) входят в понятие качества (качества товара и качества сервиса) применительно к подшипникам, и оценим в 10-балльной шкале положение каждой торговой марки по каждому параметру качества.

Специалисты по маркетингу ОБЭС «расщепили» понятие «качество» на следующие параметры:

Функциональные характеристики. Указанный параметр определяется по скоростным и силовым функциональным характеристикам подшипников на примере номенклатурных позиций ЦПП-1 и ЦПП-2, так как именно продукция этих цехов реализуется за пределы РБ. Сравнительные данные по скоростным и силовым функциональным характеристикам подшипников MPZ и ZKL приведём в таблице 1 и 2.

Таблица 1 – Сравнительные данные по скоростным и силовым функциональным характеристикам подшипников MPZ и ZKL по номенклатуре ЦПП-1

Функциональные характеристики	Удельный вес	MPZ	ZKL	MPZ/ZKL
Динамическая грузоподъёмность, кН	0,3	1945	1820	1,069
Статическая грузоподъёмность, кН	0,3	2884	2650	1,088
Предельная частота вращения, мин ⁻¹	0,4	850	790	1,076

Таблица 2 – Сравнительные данные по скоростным и силовым функциональным характеристикам подшипников MPZ и ZKL по номенклатуре ЦПП-2

Функциональные характеристики	Удельный вес	MPZ	ZKL	MPZ/ZKL
Динамическая грузоподъёмность, кН	0,3	250	273	0,916
Статическая грузоподъёмность, кН	0,3	300	315	0,952
Предельная частота вращения, мин ⁻¹	0,4	2800	2800	1,000

По отношению к подшипникам под торговой маркой ZKL подшипники MPZ несколько отстают по силовым характеристикам только по номенклатуре ЦПП-2.

Для расчёта уровня конкурентоспособности продукции по функциональным характеристикам в таблице 3 приведём структуру продаж роликовых сферических подшипников по номенклатуре выпускных цехов.

Таблица 3 – Структура продаж роликовых сферических подшипников по номенклатуре выпускных цехов

Цех	Объём продаж, тыс.шт.	Удельный вес в общем объёме продаж, %
ЦПП-1	24,8	34
ЦПП-2	47,9	66
Итого	72,7	100

Следовательно, конкурентоспособность продукции MPZ по функциональным характеристикам составит:

$$\left(\frac{250}{273} \cdot 0,3 + \frac{300}{315} \cdot 0,3 + \frac{2800}{2800} \cdot 0,4\right) \cdot 0,66 + \left(\frac{1945}{1820} \cdot 0,3 + \frac{2884}{2650} \cdot 0,3 + \frac{850}{790} \cdot 0,4\right) \cdot 0,34 = 0,996.$$

♦ Срок службы. Данный показатель устанавливается в годах. Соответственно 6 и 8 лет для MPZ и ZKL.

♦ Воспринимаемый уровень качества (бренд). Данный показатель важен, так как подшипники – товар достаточно консервативный. В основном производятся постепенные улучшения товара, без революционных скачков. Товары – заменители не угрожают. При рассмотрении рынка на глобальном уровне доминирует марочная приверженность потребителей.

♦ Обслуживание. В странах Европейского союза развиваются процессы дискриминационных ограничений на продукцию производства республики Беларусь. В частности в Польше при участии в тендерах в 2006г. отдельные предприятия отклонили предложение продукции ОАО «МПЗ» не по техническим (функциональным) или экономическим параметрам, а в связи с отсутствием в подшипниках материалов и комплектующих, произведенных в странах Европейского Союза. Что в сочетании с повышением цен со стороны ОАО «МПЗ» снижает конкурентоспособность MPZ на рынках Европы, где очень развито собственное производство подшипников.

♦ Внешний вид: качество обработки рабочих и не рабочих поверхностей, наличие следов стружки в масле и т.п. формируют воспринимаемый потребителями уровень качества продукции ОАО «МПЗ».

♦ Упаковка как физическая оболочка.

♦ Информация.

♦ Расконсервация.

Полученные оценки специалистов по маркетингу ОБЭС приведем в таблице 4 и на основе рассчитаем индексы качества товара путём перемножения оценок положения торговых марок в 10-бальной шкале на соответствующие коэффициенты в рейтингах факторов качества.

Таблица 4 – Расчёт индекса качества товара

Показатель	Удельный вес, %	MPZ	ZKL	MPZ/ZKL
Показатели, характеризующие качество товара				
Функциональные характеристики	25	-	-	0,996
Срок службы	20	6	8	0,750
Воспринимаемый уровень качества (бренд)	15	5	8	0,625
Внешний вид	10	7	8	0,875
Упаковка как физическая оболочка	13	5	7	0,714
Показатели, характеризующие качество сервиса				
Обслуживание	12	6	8	0,750
Информация	2	4	6	0,667
Расконсервация	3	7	7	1,000

Для более наглядного предоставления информации отобразим полученные данные на диаграмме.

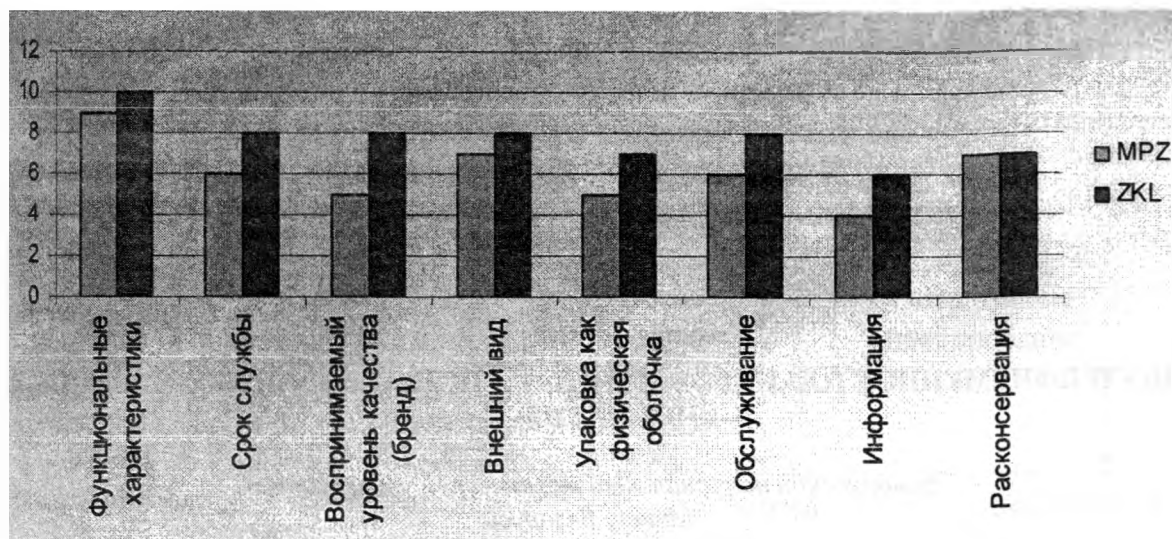


Рис. 2. Уровень качества продукции

Таким образом, индекс качества товара составит:

$$0,996 \cdot 0,25 + 0,75 \cdot 0,2 + 0,625 \cdot 0,15 + 0,75 \cdot 0,12 + 0,875 \cdot 0,1 + 0,714 \cdot 0,13 + 0,667 \cdot 0,02 + 1,00 \cdot 0,03 = 0,806.$$

Т.к. средняя цена на продукцию MPZ составляет 163000 руб., а на продукцию ZKL – 185830 руб., то уровень конкурентоспособности продукции MPZ по отношению к ZKL составит:

$$0,806 \cdot 0,6 + \frac{185830}{163000} \cdot 0,4 = 0,93;$$

где 0,6; 0,4 – удельный вес соответственно качества и цены товара при оценке конкурентоспособности товара.

Далее определим эффективность производственной деятельности MPZ по отношению к ZKL. В качестве показателя экономической эффективности работы предприятия используем показатель рентабельности реализуемой продукции.

Исходные данные для расчёта рентабельности реализуемой продукции приведём в таблице 5.

Таблица 5 – Исходные данные для расчёта рентабельности реализуемой продукции

Показатель	MPZ	ZKL	MPZ/ZKL
Прибыль, млн. руб.	1173,2	3461	0,339
Выручка от реализации продукции, млн. руб.	11258,9	32558,8	0,346
Рентабельность реализуемой продукции, %	10,42	10,63	0,980

Таким образом,

$$K_{\Pi} = I_{\Gamma} \cdot I_{\Sigma} = 0,93 \cdot 0,98 = 0,92.$$

Т.к. $K_{\Pi} < 1$, то можно сделать вывод, что ОАО «МПЗ» уступает ZKL по конкурентоспособности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фасхиев, Х. А. Как измерить конкурентоспособность предприятия? // Маркетинг: России и за рубежом. – 2003. – № 4. – с.53-68. 2. Конкурентоспособность предприятия в современных условиях хозяйствования/ А.А. Воронов. – Краснодар: КГУ, 2000. – 194 с.

УДК338.24

Акунец В.П., Ивашин Э.Я

ВНУТРИФИРМЕННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КАК СИСТЕМА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ НОРМАТИВОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Внутрифирменное планирование – это процесс разработки планов экономического развития предприятия. Планирование является функцией формирования целей предприятия и способов их достижения.

Планирование деятельности предприятия в зависимости от принятой в государстве политики регулирования экономических процессов может быть централизованным или децентрализованным. В условиях рыночной модели экономики производитель самостоятельно ищет покупателя своей продукции. Поэтому результат планирования хозяйственной деятельности в условиях рыночной экономики отражается на приросте или потере капитала. Таким образом, планирование – многогранная категория, оказывающая самое непосредственное влияние на результат производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

План представляет собой намеченную на определенный срок последовательность работ. Основной принцип деятельности предприятия – это работа по плану, по определенной системе. Основные элементы плана – это цель; конкретные задачи; распределение плановых мероприятий во времени. *Планирование на предприятии* – это процесс разработки системы мероприятий и показателей производственно-хозяйственной деятельности предприятия и его структурных подразделений.

Разработке плана предприятия предшествует глубокий и всесторонний анализ его деятельности, целью которого являются оценка достигнутого организационно-технического уровня производства, выявление резервов и неиспользованных возможностей.

Предварительный анализ деятельности способствует увеличению в планируемом периоде объемов производства, снижению издержек, повышению производительности труда и качества продукции, что в результате обеспечивает экономическую эффективность финансово-хозяйственной деятельности предприятия.

Основные функции планирования заключаются в следующем:

- выявление необходимых предприятию трудовых, материальных и финансовых ресурсов;
- постановка перед коллективом предприятия конкретных задач на определенный период времени и выявление путей их выполнения;
- четкая взаимосвязь деятельности подразделений и служб предприятия, ее согласование по количественным показателям и во времени;
- согласование деятельности предприятия с действиями поставщиков и потребителей;
- постоянное использование факторов научно-технического прогресса;
- обеспечение роста производительности труда и высокой рентабельности.

Любое предприятие является открытой системой. Это предполагает, что его деятельность существенно зависит как от внутренних, так и от внешних факторов. Планирование на предприятии подразделяется на стратегическое, технико-экономическое и оперативно-производственное. *Стратегическое планирование* представляет собой поиск новых возможностей предприятия на рынке. *Технико-экономическое планирование* – это процесс создания предпосылок для реализации возможностей предприятия (на год, квартал). *Оперативно-производственное планирование* направлено на непосредственную реализацию задач предприятия в краткосрочный период (месяц, сутки, смену).

Одновременно оперативное планирование является завершающим этапом в планировании деятельности предприятия. На рис. 1 приведена принципиальная схема внутрифирменного планирования производства.

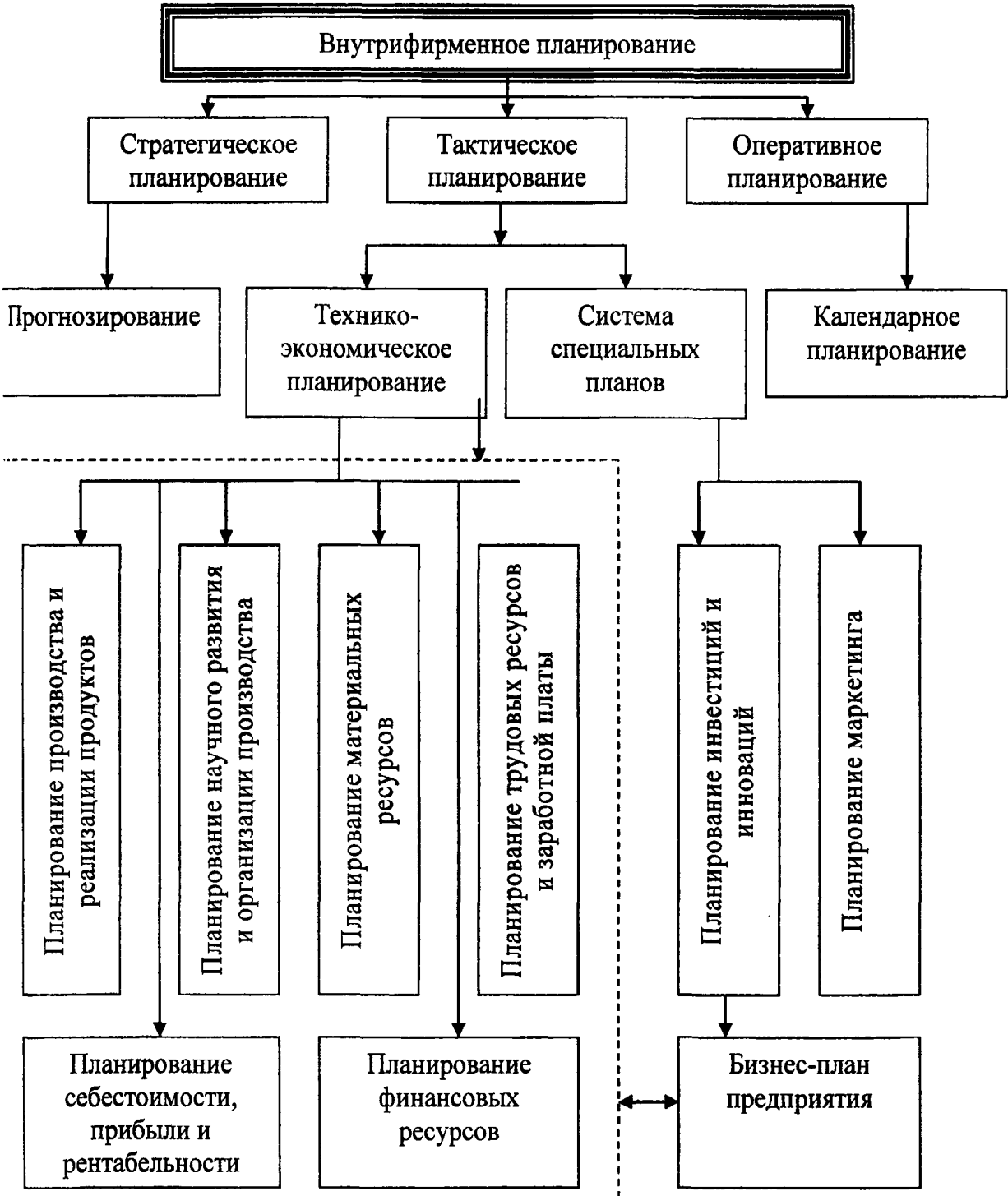


Рис. 1. Система внутрифирменного планирования производства (принципиальная схема)

Качество разрабатываемых на предприятии планов в определённой мере зависит от используемых норм и нормативов.

Норма – это максимально допустимая величина расхода i -го ресурса на производство единицы продукции или выполнение определённого объёма работы установленного качества, в определённую дату или в соответствующем периоде времени.

Норматив – это показатель, характеризующий относительную или удельную величину i-го ресурса на единицу объёма продукции, площади, веса и т. д.

Нормы и нормативы используются в качестве исходной базы для определения потребности в оборудовании, сырье и материалах, при расчётах численности работающих, фонда заработной платы, издержек производства, т. е. для расчёта практически всех плановых показателей работы предприятия и его структурных подразделений. Следует иметь в виду, что одновременно они используются при реализации других функций управления.

Учитывая широкий диапазон назначения норм и нормативов, а также участие в их разработке различных функциональных служб, содержание, назначение и организацию разработки норм и нормативов на предприятии следует рассматривать по направлениям используемых ресурсов производства. Более подробно этот вопрос изложен в литературе [1].

Система производственных нормативов состоит из следующих подсистем:

- подсистема норм и нормативов средств труда;
- подсистема норм и нормативов материальных затрат;
- подсистема трудовых норм и нормативов;
- подсистема нормативов производственных запасов;
- подсистема нормативов производственной инфраструктуры;
- подсистема календарно-плановых нормативов;
- подсистема нормативов технической подготовки производства.

По сути дела все этапы внутрифирменного планирования пронизаны соответствующими нормативами, которые не должны быть нарушены.

Система производственных нормативов на предприятии должна чётко регламентировать параметры всех подсистем управления и подсистемы технико-экономического планирования как центрального звена в экономическом механизме управления производственной деятельностью на предприятии. Само понятие экономического механизма управления предполагает наличие не только экономических нормативов, но и нормативов подготовки производства нормативов использования основных и оборотных средств, а также нормативов использовании трудовых ресурсов. Причём в условиях формирования рыночных отношений требуется рассматривать не отдельно взятые нормативы, показатели или подсистемы управления, позволяющие повысить эффективность управления, а все производственные нормативы в их органической взаимосвязи, в результате чего будет произведена конкурентоспособная продукция.

Важнейшей проблемой, которую необходимо решить в настоящее время на промышленных предприятиях, является разработка комплекса мероприятий, направленных на экономию материальных и трудовых ресурсов.

Производственные нормативы позволяют количественно отразить в планах объективно существующую в производстве тенденцию экономии времени. В условиях формирования рыночных отношений и дальнейшего совершенствования организации производства наряду с экономией материальных, трудовых и финансовых затрат всё большее значение приобретает фактор времени, который предопределяет максимальное сокращение сроков осуществления проектов производства новых видов продукции, а также выбор вариантов, дающих быструю отдачу. В связи с этим необходимо рассмотреть проблемы совершенствования норматива длительности производственного цикла.

Поиски решения названных проблем подтверждают необходимость комплексного подхода к исследованию закономерностей формирования системы производственных нормативов, позволяющего выяснить объективную основу совершенствования нормативов как важнейших параметров организации производственных процессов, которые в свою очередь оказывают решающее воздействие на социально-экономические показатели развития предприятий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акунец В.П. Система производственных нормативов. – Мн. УП «Технопринт» 2002. – 160 с.
2. Акунец В.П., Сивенков О.В. Внутрифирменное планирование. – Мн. ЧИУП 2005. – 71 с.
3. Ильин А.И. Планирование на предприятии. Учебник. – Мн. «Новое знание» 2001. – 326 с.

ДЕБИТОРСКАЯ И КРЕДИТОРСКАЯ ЗАДОЛЖЕННОСТЬ ПО МСФО. КРИТЕРИИ ПРИЗНАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Учет дебиторской и кредиторской задолженностей влияет на величину оборотного капитала компании, позволяет эффективно использовать временно свободные средства и не допускать появления безнадежных долгов. В МСФО нет специального стандарта, посвященного дебиторской и кредиторской задолженностям, однако при составлении отчетности необходимо соблюдать принцип консерватизма, чтобы не ввести в заблуждение ее пользователей.

Дебиторская задолженность (ДЗ) и ссуды выделяются в отдельный класс финансовых активов и определяются как «непроизводные финансовые активы с фиксированными или определяемыми платежами, которые не котируются на активном рынке» (согласно параграфу 9 МСФО (IAS) 39). Исключение составляют активы, которые предназначены для продажи, или товары (для торговых компаний), если компания планирует их выбытие в ближайшем будущем.

Этот класс финансовых активов может включать:

- ✓ торговую дебиторскую задолженность;
- ✓ инвестиции в долговые инструменты и банковские депозиты;
- ✓ заемные активы.

Если финансовые активы котируются на рынке, то по МСФО (IAS) 39 они не могут быть классифицированы как ссуда или дебиторская задолженность.

Финансовые активы, которые не отвечают необходимым критериям признания в качестве ссуды или дебиторской задолженности, могут быть классифицированы как инвестиции, удерживаемые до погашения, при условии, что они удовлетворяют критериям такой классификации.

Кредиторская задолженность (КЗ) определяется как «обязательство оплатить товары или услуги, которые были получены или поставлены и на которые либо были выставлены счета-фактуры, либо они были формально согласованы с поставщиком» (согласно параграфу 11а МСФО (IAS) 37).

Определение, классификация, порядок отражения в учете дебиторской и кредиторской задолженностей регулируются МСФО (IAS) 39 «Финансовые инструменты – признание и оценка» (Financial Instruments: Recognition and Measurement). К кредиторской задолженности также применяется МСФО (IAS) 37 «Оценочные обязательства, условные обязательства и условные активы» (Provisions, Contingent Liabilities and Contingent Assets).

Для признания ДЗ и КЗ в учете используются общие критерии признания активов и обязательств. Чтобы актив или обязательство были признаны таковыми, необходимо одновременное соответствие следующим критериям:

- ✓ существует высокая вероятность получения (оттока) экономических выгод, связанных с данным активом (обязательством);
- ✓ стоимость актива или обязательства может быть надежно оценена.

Дебиторская и кредиторская задолженности оцениваются одним из следующих методов:

- ✓ исторической стоимости;
- ✓ справедливой стоимости;
- ✓ амортизированной стоимости.

При первоначальном признании дебиторская и кредиторская задолженности оцениваются по справедливой стоимости (по стоимости сделки), включая затраты по совершению

сделки, которые напрямую связаны с приобретением или выпуском финансового актива или финансового обязательства.

После первоначального признания ДЗ и КЗ оцениваются по амортизируемой стоимости с применением метода эффективной ставки процента. При этом под амортизируемой понимается стоимость финансового актива или обязательства, которая была определена при его первоначальном признании, за вычетом стоимости его погашения, суммы накопленной амортизации, начисленной с разницы между первоначальной стоимостью и стоимостью на момент погашения.

Эффективная ставка процента - это ставка, которая позволяет привести планируемые суммы денежных выплат (поступлений до погашения) к дисконтированной балансовой стоимости финансового актива или обязательства. Дисконтирование является важнейшим механизмом, позволяющим представлять финансовое положение организации достоверно. В МСФО дисконтирование может повлиять на балансовую стоимость любого элемента учета и тем самым изменить финансовые результаты компании.

Смысл дисконтирования заключается в том, что текущая стоимость будущих финансовых потоков может существенно отличаться от их номинальной стоимости. Теория стоимости денег говорит, что одна и та же сумма, выплачиваемая в разные моменты времени, имеет разную стоимость по следующим двум причинам:

- 1) риск неполучения;
- 2) возможность альтернативных инвестиций.

Например, если компания приобрела активы по обычной цене, но смогла договориться о значительной отсрочке их оплаты, то она фактически приобрела активы дешевле обычного. А если компания реализовала актив с существенной отсрочкой платежа, то дебиторская задолженность в МСФО будет отражена не по ее номинальной стоимости, а по текущей, дисконтированной, а разница повлияет на финансовые результаты. За счет учета влияния на финансовые показатели временной стоимости денег повышается сравнимость финансовой отчетности, и она представляет больше возможностей для инвестиционного и управленческого анализа.

Любые, даже самые сложные, операции дисконтирования сводятся к формуле:

$$PV = FV / (1+i)^n$$

где FV – текущая стоимость; PV – будущая стоимость; i – ставка дисконтирования; n – срок (число периодов).

Определение ставки не только самое важное, но и самое сложное в дисконтировании. Не бывает правильной или неправильной ставки дисконтирования. Ставка дисконтирования как правило, отличается у различных компаний, в отношении разнообразных операций в разные моменты времени и для решения разных задач. Выбранная ставка дисконтирования должна максимально приближаться к ставке, которую мог бы получить заемщик у независимого кредитора в рыночных условиях и в сравнимой ситуации.

Ставка дисконтирования для конкретного актива (например, для основного средства или дочернего предприятия) равна ставке, по которой компании пришлось бы заплатить за привлечение средств для покупки аналогичного актива.

В случае если данные для определения ставки дисконтирования не могут быть получены непосредственно на рынке, необходим такой показатель, который отражал бы временную стоимость денег. Это означает, что нужно принимать во внимание «страновой риск», «отраслевой риск», «валютный риск», «риски ценообразования» и др.

В соответствии с MCA (ISA) 540 «Аудит бухгалтерских оценок» аудиторы отчетности по МСФО должны будут убедиться в том, что компания правильно выбрала ставку дисконтирования. Поэтому, если дисконтирование существенно влияет на финансовое положение или финансовые результаты деятельности компании, то определение ставки дисконтирования целесообразно поручить независимой стороне (например, оценщикам или аудиторской компании).

Можно выделить следующие основные правила дисконтирования в МСФО, которые применимы ко всем ситуациям:

1. Дисконтирование обычно не осуществляется, если влияние временной стоимости денег не существенно;

2. Процентная часть, образующаяся при дисконтировании, обычно начисляется не равномерно, а по эффективной процентной ставке. Соответственно, ставка дисконтирования рассчитывается методом сложных процентов. Согласно МСФО (IAS) 39 «Финансовые инструменты: признание и оценка» (Financial Instruments: Recognition and Measurement) эффективная ставка процента представляет собой ставку, которая обеспечивает точное дисконтирование ожидаемой суммы будущих денежных выплат или поступлений вплоть до наступления срока погашения по данному финансовому инструменту, либо, когда это уместно, в течение более короткого периода, до чистой балансовой стоимости финансового актива или финансового обязательства.

3. Финансовые инструменты приобретаются в течение всего финансового года, и в качестве периода, для которого определяется ставка дисконтирования (в формуле – «n») следует применять не год, а как можно более короткий период (обычно достаточно месяца). В противном случае рассчитать проценты на каждую отчетную дату будет гораздо сложнее.

4. Для определения ставки дисконтирования (за исключением особых случаев) обычно применяются рыночные ставки, в том числе скорректированные под аналогичные условия, например, под условия привлечения заемных средств, аналогичные в отношении валюты, срока, типа процентной ставки и других факторов, привлекаемые организацией с аналогичным рейтингом кредитоспособности;

5. Ставка дисконтирования, применяемая для учета, обычно зависит от кредитоспособности должника. Если дисконтируется дебиторская задолженность, то ставка дисконтирования обычно соответствует процентной ставке, по которой данный контрагент мог бы получить заемные средства на аналогичных условиях. Если дисконтируется кредиторская задолженность, то ставка дисконтирования обычно соответствует процентной ставке, по которой данная организация могла бы получить заемные средства на аналогичных условиях.

6. Ставки дисконтирования применяются до вычета налога на прибыль, то есть при оценке ставки учитываются денежные потоки до налогообложения.

7. При оценке ставок дисконтирования не учитываются риски, для которых расчеты будущих потоков денежных средств были скорректированы. Например, если будущие потоки денежных средств рассчитываются в номинальном выражении, то ставка дисконтирования должна включать в себя эффект роста цен.

После первоначального признания ДЗ и КЗ учитываются в соответствии со справедливой стоимостью.

С точки зрения МСФО «справедливая стоимость» – это сумма денежных средств, достаточная для приобретения актива или исполнения обязательства при совершении сделки между хорошо осведомленными, действительно желающими совершить такую сделку, независимыми друг от друга сторонами

В контексте стандартов справедливой стоимостью является рыночная цена актива. Однако рынок (капитала, товаров и услуг) в том понятии, которое придают ему стандарты, зачастую отсутствует. Тогда компания вынуждена прибегать к другим методам оценки актива, предписываемым соответствующими стандартами, и в качестве справедливой стоимости может оказаться субъективная оценка предпринимателя.

Стоит отметить, что наилучшие условия для оценки справедливой стоимости создает наличие активного рынка, на котором совершаются регулярные сделки с однородными товарами. Любое изменение конъюнктуры рынка поставщиков основных средств, запасов сразу же «переходит» в отчетность предприятия и тем самым подвергает колебаниям важнейшие показатели.

У предприятий при отсутствии свободного рынка как такового (в понимании КМСФО) появляется очень хороший инструмент манипулирования отчетностью, и тем самым дополнительные возможности привлечения инвестиций и собственного развития (в лучшем случае) и мошенничества (в худшем)

Конечно, ориентация на справедливую стоимость это правильно. Это дает инвесторам более ясную информацию о состоянии дел в компании. Однако, тот путь который предлагают международные стандарты, пока для Беларуси сложен: нет еще того разнообразия свободных рынков и не сложилась еще культура открытости отношений собственника и инвестора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Финансовый учет: глобальный подход. С.Грей, Б.Нидлз. 2. Палий В.Ф. Международные стандарты учета и финансовой отчетности: Учебник – 3- изд.-М.: ИНФРА-М, 2007.-512 с
3. Малькова, Т.Н. Теория и практика международного бухгалтерского учета. Учеб.пособие СПб: Издательский дом «Бизнеса-пресса», 2006.– 352с.

УДК 339:004

Бутковская В.П.

КЛАССИФИКАЦИЯ СРЕДСТВ ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время в сети Интернет сложилась напряженная ситуация между производителями и потребителями, которая связана с тем, что маркетинговые коммуникационные связи не налажены. Очень часто потребитель не находит интересующую его продукцию либо услугу, а продавец не может донести информацию до целевого потребителя. Решить эту, а также многие другие задачи и призван интернет-маркетинг, который посредством рекламы позволяет соединить потребности покупателей с предложениями продавцов воедино.

Следует отметить, что реклама в Интернет, как правило, имеет двухступенчатый характер (рис. 1).

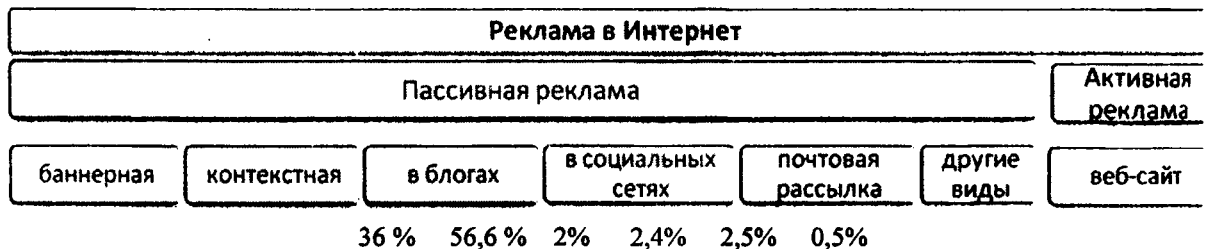


Рис. 1. Двухступенчатый характер рекламы

Первым звеном воздействия является внешняя реклама: баннерная реклама, контекстная реклама, реклама в блогах, реклама в социальных сетях, почтовая рассылка и другие виды рекламы, размещаемые на популярных и тематических сайтах. Все это воздействие принято называть пассивной рекламой, поскольку она не находится под контролем пользователя. Пользователь видит рекламу как следствие взаимодействия с сайтом, на котором она размещена.

Вторым звеном рекламы в Интернет является веб-сайт, на который пользователь попадает в результате непосредственного взаимодействия с рекламным объявлением. Переход по рекламной ссылке, пользователь совершает обдуманное действие, поэтому подобную рекламу можно назвать активной. Если рассматривать веб-сайт как средство рекламы в Интернет, то он может выполнять как функции стимулирования сбыта, так и функции имиджевой рекламы. Наряду с тем, что через сайт может непосредственно осуществляться сбыт товаров он всегда является одним из средств осуществления контакта с потребителями продукции или услуг фирмы, поэтому качество его выполнения и уровень реализации всех его функций является одним из важнейших элементов коммуникативной политики в Интернете.

Классификацию средств интернет-маркетинга можно представить в виде таблицы 1.

Таблица 1 – Классификация средств интернет-маркетинга

Средство	Задачи	Особенности	Применение
1	2	3	4
Баннерная реклама	Распространение или усиление имиджа товара и фирмы, усиление доверия к товару и фирме.	Больше привлекает внимание пользователей, так как используется графическая анимация. Меньшее количество пользователей переходят на веб-сайт с такого вида рекламы. Дешевле, чем контекстная	Подойдет для новых компаний, которые хотят повысить узнаваемость своего продукта или торговой марки, а также для компаний со скромным рекламным бюджетом.
Контекстная реклама	Увеличение объемов продаж, привлечение посетителей на веб-сайт компании.	Показывается именно тем пользователям, которые заинтересованы в конкретной информации (например вместе с результатами поискового запроса или на тематических ресурсах). Требуется больших финансовых затрат, чем баннерная	Для фирм, готовых потратить достаточно средств на рекламу, а также для компаний, осуществляющих продажи через Интернет
Сайт-визитка и презентационный сайт	Реклама продукции и услуг, создание имиджа компании	Содержат общую информацию о фирме, прайс-лист, реквизиты, план проезда и т.п. Не требуют больших капиталовложений, приносят ощутимый результат. Дизайн шаблонный или уникальный, сайт состоит из нескольких страниц в формате html, shtml, htm	Для фирм малого и среднего бизнеса, на начальном этапе выхода в Интернет
Представительский и корпоративный сайт	Полная автоматизация деятельности фирмы	Сложные по структуре и функциональным возможностям с большим количеством информации. Могут содержать различные коммуникационные сервисы (с возможностью персонализации) для общения с сотрудниками, клиентами и партнерами - электронный обмен документами EDI, быстрое формирование заказа с учетом истории переговоров с данным контрагентом, on-line переговоры и пр.	Для больших компаний с большой клиентской базой, разветвленной дилерской сетью и т.д. Для компаний, активно использующих Интернет для развития своего бизнеса
Интернет-магазин	Продажа товаров через Интернет; автоматизация бизнес-процессов	Позволяет заказать и получить товар, не выходя из дома. Дает возможность содержать небольшой штат сотрудников и при этом торговать и работать как полноценный магазин	Для компаний, продукция которых может быть реализована через Интернет

1	2	3	4
Информационный портал	Объединение большого объема информационных ресурсов; доступ к различным внутри-корпоративным приложениям	Сложное программное решение и модульность структуры, качественный дизайн, удобная навигация. Высокая посещаемость, и предоставление хороших возможностей для организации продаж, проведения PR-акций, брендинга и других маркетинговых мероприятий	Для компаний, которые предоставляют услуги, связанные со значительными информационными потоками (разнообразные СМИ, контент-проекты и т.д.)

Из представленной таблицы видно, что фирма может выбирать то или иное средство интернет-маркетинга в зависимости от поставленных целей и задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Internet-маркетинг сборник статей: <http://www.ischon.net/>. 2. Успенский И.В. ИНТЕРНЕТ-МАРКЕТИНГ Учебник. - СПб.: Изд-во СПГУЭиФ, 2003. 3. Энциклопедия интернет-рекламы: <http://book.promo.ru/book/>

УДК 621.941

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э.

О ВОЗМОЖНОСТЯХ ОБРАБОТКИ НЕЖЕСТКИХ ВАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В токарной практике часто приходится обтачивать длинные прутковые заготовки. Не жесткость их затрудняет обработку обычным способом в центрах, и даже в центрах с поддержкой люнетами.

Валы, длина которых превышает 12-кратную величину диаметра, считаются нежесткими, и, как правило, обрабатываются с применением люнетов, что создает дополнительную опору обтачиваемому валу. Используемые люнеты бывают неподвижными и устанавливаются на станине станка, и подвижные, которые крепятся на суппорте.

При пользовании неподвижным люнетом необходимо точно обработать шейку вала, где будут установлены кулачки, так как геометрические погрешности поперечного сечения этой шейки копируются на обработанную поверхность вала. Часто вместо обточки шейки пользуются установкой на это место втулки, около обоих торцов которой по окружности размещены регулировочные винты. При помощи этих винтов производят регулировку на отсутствие биения втулки. Если вал имеет прогиб от собственного веса, то при установке люнета необходимо компенсировать стрелу прогиба.

На заводах применяется несколько способов обработки прутковых заготовок без использования сложной оснастки. Одним из них является закрепление непосредственно перед проходным упорным резцом люнетной планки с отверстием, соответствующим диаметру прутковой заготовки и расположенной точно на уровне оси шпинделя. Резец подводится к отверстию вплотную, так, что бы режущая кромка перекрывала часть отверстия на заданную глубину резания. Наладка на размер производится регулировкой винта резца. Люнетная планка может быть частью специальной державки, установленной в резцедержателе [1].

Совпадение оси отверстия в планке с осью шпинделя достигается тем, что отверстие сверлится, а затем развертывается инструментами, закрепляемыми в шпинделе станка. В отверстие планки можно вставлять закаленные переходные втулки для прутков различных диаметров.

Высокую производительность обтачивания длинных прутков малого диаметра обеспечивает резцовая головка с тремя резцами. Головка приваривается к державке, которая закреплена в резцедержателе. Пруток центрируется сменной закаленной втулкой, вплотную примыкающей к режущим кромкам вставных резцов головки. Установка вылета резцов на заданный размер производится по эталонной детали, закрепляемой в патроне.

Кроме применения люнетов, жесткость вала пытаются повысить, закрепляя левый люнет в патроне или цанге, а правый, подпирая центром.

Перспективным направлением, на наш взгляд, для повышения точности механической обработки деталей и уменьшения припусков на обработку является применение метода продольного растяжения, обеспечивающего существенное повышение жесткости технологической системы, точности и качества деталей в их продольном и поперечном сечениях.

Основной особенностью процессов обработки маложестких деталей методом точения является воздействие на деталь осевым или совместным осевым и радиальным растягивающими усилиями, при этом напряжения, возникающие вследствие растяжения детали, не превышают предела упругости обрабатываемого материала.

Напряженное состояние детали не только повышает ее жесткость и практически исключает возможность ее упругого деформирования, но и способствует выборке зазоров в установочных приспособлениях. В частности, при токарной обработке в отличие от традиционного метода, предусматривающего поджатие детали задним центром, исключается возможность сближения торцов [2].

Механическое растяжение нежесткой детали предусматривает наличие упругого элемента и возможность осевого перемещения элементов растяжения на величину, обусловленную жесткостью упругого элемента и требуемым продольным усилием. Разработанный способ растяжения заготовок за счет их температурного сокращения при охлаждении [3] заключается в предварительном нагреве заготовки до требуемой температуры, значение которой определяется из условия равенства тепловой и деформации от механического растяжения. При закреплении нагретой заготовки в токарных патронах, обращенных друг к другу и последующем охлаждении заготовка стремится к достижению первоначальных размеров в осевом и радиальном направлениях, вследствие чего происходит ее растяжение. Величина усилия растяжения заготовки определяется значением температуры ее нагрева и зазорами в технологической системе.

Нагрев заготовки перед обработкой осуществляется в кольцевом индукторе ТВЧ, а затем после закрепления ее на станке обильным поливом СОЖ производится охлаждение. Температура нагрева (верхний предел) выбирается для различных диаметров обрабатываемых заготовок экспериментальным путем.

Для устранения деформаций оси деталей, вызванных релаксацией внутренних напряжений, разработан способ обработки нежестких деталей, при котором последнюю по окончании процесса резания в растянутом состоянии нагревают вдоль ее образующей до температуры низкого отпуска [4]. На рисунке 1 приведена кинематическая схема реализации способа (а) и вид по стрелке А (б). Устройство ; включает обрабатываемую деталь 1, установленную в двух обращенных друг к другу токарных патронах 2 и 3, один из которых установлен с возможностью осевого перемещения для создания растягивающего усилия РР.

Обработку осуществляют резцом 4, установленным в резцедержателе (суппорте) 5, который имеет возможность поперечного перемещения по винту 6 от привода (редуктор 7, двигатель 8).

Привод продольного перемещения суппорта осуществляется от винта 9 через редуктор 10 и двигатель 11.

Блок управления 12 содержит три пары переключателей, которые управляют перемещениями • суппорта и индуктором 13, причем две пары переключателей 14 и 15 служат соответственно для разрыва цепи питания двигателя 11 привода перемещения узла резцедержателя 5 и осуществления замыкания цепи питания двигателя 8 радиального перемещения суппорта по винту 6. Микропереключатели 16 и 17 замыкают цепь включения индуктора 13 и цепь включения реверсивного двигателя 11 в обратном направлении.

Микропереключатель 18 предназначен для остановки привода перемещения суппорта 5. Индуктор 13 закрепляется в резцедержателе 5 посредством токопроводящих пластин 19. Биметаллический элемент 20, подпружиненный упругим элементом 21, соединен с осью 22 индукционного датчика 23, соединенного проводником через усилитель 24 с блоком 25 управления, соединенного с емкостью лампового генератора 26, питаемого через блок 27 выпрямления тока от трехфазной сети ($U = 280\text{В}$, $\sim 50\text{Гц}$).

Устройство работает следующим образом.

При включении установки обрабатываемая деталь 1, зажатая в переднем 2 и заднем 3 патронах, приводится во вращение в направлении, показанном стрелкой. Одновременно детали задается растягивающее усилие P_r , и она обрабатывается резцом 4 закрепленным в узле резцедержателя (суппорта) - 5 в направлении, показанном стрелкой. По окончании процесса обработки детали узлом резцедержателя (суппорта) 5 замыкаются контакты микропереключателей 14 и 15. Контакт 14 разрывает цепь питания двигателя 11 привода перемещения узла резцедержателя по винту 9 через редуктор 10. Коммутация осуществляется в блоке управления (рис. 1, позиция 12). Контакт 15 осуществляется замыкание цепи питания двигателя 8 радиального перемещения суппорта 5 по винту 6 через редуктор 7. В результате радиального перемещения суппорта 5 происходит замыкание контактов микропереключателей 16 и 17. Контакт 16 замыкает цепь включения индуктора 13, а контакт 17 замыкает цепь включения реверсивного двигателя 11 в обратном направлении. В результате перемещения индуктора вдоль детали 1 происходит снятие остаточных напряжений. В конце операции происходит замыкание контактов микропереключателя 18, размыкающих цепь питания двигателя 11. Температура нагрева заготовки индуктора равна температуре низкого отпуска ее материалов (для стали температура нагрева 200°C). Это обеспечивается тем, что в момент отвода резца 4 от заготовки биметаллический элемент 20 входит в соприкосновение с деталью 1 и, нагреваясь, перемещает ось 22 датчика 23. Электрический сигнал поступает на усилитель 24, на блок 25 управления и от него — на ламповый генератор 26, который связан с блоком 27 выпрямления, соединенного с трехфазной сетью. Равномерный нагрев заготовки 1, регулируется изменением частоты в колебательном контуре за счет емкости.

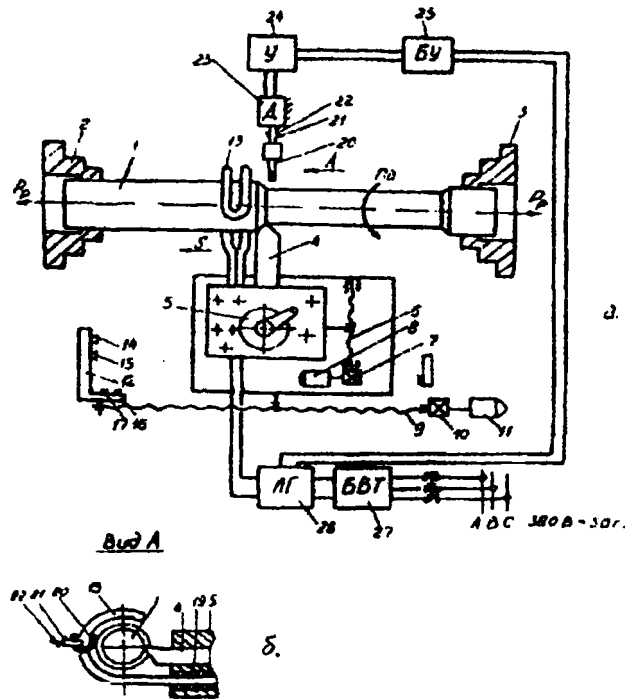


Рис. 1. Устройство для реализации способа обработки нежестких деталей — тел вращения по а.с. N 1038072: а — кинематическая схема; б — вид по стрелке А.

Применение устройства для токарной обработки нежестких деталей позволило повысить точность обработанной детали в 2,5 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стискин Г.М. Прогрессивные приспособления и инструменты для токарных работ. Киев, «Техніка», 1998. 2. Бурский В.А., Карпушин В.А. Обработка нежестких деталей приборов. Минск, «Минсктиппроект», 1998. 3. Карпушин В.А. Дорожкин Н.Н. Способ механической обработки нежестких деталей. А.с. 618195 СССР, опубл. в Б.Ил 1972, №30. 4. Ивашин Э.Я и др. Устройство для токарной обработки нежестких деталей. А.с. 1038072, опубл. в Б.И., 1983, №32.

УДК 005.932:33

Похабов В.И., Прокопенко Л.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В течение длительного времени традиционная производственно-сбытовая деятельность базировалась на том, что колебания спроса на продукцию того или иного производства регулировались запасами этой продукции. Производство работало в собственном ритме, а запасы ГП создавались, по существу, "на всякий случай". Недостатки такой организации производства были очевидны. Помимо омертвления значительных средств в виде создания пока что не востребованных запасов, возникают издержки на их хранение и, следовательно, увеличивается стоимость продукции. Кроме того, такие товарные запасы ограничивают возможность фирмы в удовлетворении запросов, касающихся нового ассортимента или выражающихся в изменении требований к качеству товаров. Фирма становится консервативной, ее возможности расширения круга клиентуры и овладения новыми рынками оказываются ограниченными. В конечном счете, это затрудняет (если не исключает полностью) проведение эффективной и выгодной ценовой и технической политики.

Организация и управление производством в соответствии с традиционной концепцией стремятся к поддержанию высокой степени использования оборудования и к снижению производственных затрат. За соответствующими показателями во время всего производственного цикла осуществляется текущий контроль. На основании результатов контроля этих показателей осуществляются те или иные управленческие мероприятия.

Традиционная концепция управления ходом производства (в частности, материалопотоками предприятия) исходит из того, что производимый товар изготавливается на основании уже проведенного высшим руководством фирмы анализа рыночной конъюнктуры. Поэтому предполагается, что продукция данного ассортимента и в данном объеме рано или поздно будет реализована. При таком подходе цели управления производством носят локальный и конкретный характер: максимальная загрузка оборудования и недопущение его простоев, стремление к выпуску наименьшего числа партий продукции наибольшего объема, к постоянному повышению производительности, в том числе и за счет допущения определенного процента брака и узкой специализации производственного персонала.

Принципиальное же отличие логистического подхода к управлению материалопотоком от традиционного заключается в:

- 1) в объединении разрозненных материалопотоков в единый сквозной материалопоток;
- 2) выделении единой функции управления сквозным материалопотоком;
- 3) технической, экономической, информационной интеграции отдельных звеньев логистической цепи в единую систему (на макроуровне — различных предприятий, на микроуровне — различных служб предприятия).

Выделение материалопотока в качестве объекта управления и связанное с этим абстрагирование от ряда факторов приводит к некоторому упрощению экономических процессов и существенному сокращению размерности задач моделирования. Это позволяет проектировать сквозные логистические цепи, решать задачи сквозного мониторинга движения грузов, начиная от первичного источника сырья через все промежуточные процессы вплоть до поступления к конечному потребителю готовой продукции, и, в целом, открывает новые возможности формализованного исследования экономических процессов.

На современном этапе развития сложились новые условия производства, которые вышли за рамки традиционных методов его организации, сдерживающие не только развитие производства, но и транспортных, снабженческих и сбытовых структур. Изменения во многих представлениях об организации производственного процесса на предприятии внесла логистика.

Актуальность рассмотрения производственной логистики как отдельной функциональной подсистемы состоит в том, что в последние годы отмечена тенденция к сокращению сферы массового и крупносерийного производства. Расширяется применение универсального оборудования, гибких переналаживаемых производственных систем. Производители получают все больше заказов на производство небольших партий и даже единичных изделий. При этом со стороны покупателей все чаще выдвигается требование удовлетворить потребность за минимально короткий срок (сутки, час) с высокой степенью гарантий.

Производство является одной из основных сфер логистики, занимающей центральное место в компании.

Логистическая система, используемая фирмой для выработки стратегии в таких видах деятельности, как планирование и производство, взаимодействует с функциональными областями: производство и технология, маркетинг, а также финансирование и администрирование [4, с. 27].

Планирование в логистике связано с размещением предприятий, планированием складской сети, системой складской обработки грузов, упаковкой, планированием производства, выбором оборудования и транспортной модели. Производственная деятельность логистики связана с составлением производственного календарного планирования, прогнозом продаж, обработкой заказа, диспетчеризацией, контролем за деятельностью, управлением запасами готовой продукции, внешним и внутренним транспортом и другими функциями.

Процесс производства взаимодействует с системой логистики по двум направлениям. Во-первых, производство должно регулярно пополнять запасы готовой продукции в системе распределения и, что особенно важно, удовлетворять спонтанные потребности, независимо от того, является ли продукция стандартной, модифицированной или специальной. Во-вторых, производство зависит от системы материального обеспечения в части сырья, материалов, комплектующих частей в определенном количестве и определенного качества [3, с.27].

Цель производственной логистики заключается в точной синхронизации процесса производства и логистических операций во взаимосвязанных подразделениях.

Задачи производственной логистики отражают организацию управления материальными и информационными потоками не просто внутри логистической системы, а в рамках процесса производства.

Деятельность предприятий и организаций в области логистики для достижения конкурентных преимуществ складывается из нескольких правил, которые получили название "шести правил логистики":

1. Груз - нужный товар;
2. Качество - необходимого качества;
3. Количество - в необходимом количестве;
4. Время - должен быть доставлен в нужное время;
5. Место - в нужное место;
6. Затраты - с минимальными затратами.

Логистическая деятельность должна носить интеграционный характер, иначе достижение этих шести правил не возможно. Необходима интеграция всех субъектов участвующих в логистической цепочке в логистическую систему.

Западными учеными и специалистами было разработано множество логистических концепций, успешно применяемых на многих известных предприятиях и корпорациях, которые дали значительные конкурентные преимущества выпускаемым ими товарам и позволили стать предприятиям ведущими в своей отрасли производства. Среди них такие, как логистическая концепция "JUST-IN-TIME" (точно в срок), логистическая концепция "REQUIREMENTS / RESOURCE PLANNING" (системы планирования потребностей в материалах / производственного планирования потребностей ресурсов), макрологистическая концепция "LEAN PRODUCTION" ("тощее производство"), концепция "RULES BASED REORDER" (ROP), ("управление основным перезаказом"), концепция "QUICK RESPONSE" (QR) («быстрый ответ»), концепция "CONTINUOUS REPLENISHMENT" (CR) («непрерывное пополнение»), концепция "AUTOMATIC REPLENISHMENT" (AR) (автоматическое пополнение запасов).

Наиболее широко применимой для снижения издержек производства и оптимизации логистической деятельности предприятий является логистическая концепция JUST-IN-TIME. Ее появление относится к концу 50-х годов, когда японская компания «Тойота Моторс», а затем и другие автомобилестроительные фирмы Японии начали активно внедрять систему посредством информационной системы KANBAN.

Одним из способов оптимизации логистической деятельности промышленного предприятия является корректировка страховых запасов в совокупности с размерами партии заказа и режимами поставок. Правильно запланированный страховой запас содействует бесперебойной работе промышленного предприятия. В отличие от текущего запаса материальных ресурсов, страховой постоянен и для нормального функционирования предприятия он неприкосновенен. Величина страхового запаса зависит от интенсивности движения материалопотока, организации производства, соблюдения графика поставки ресурсов, задействования оборотных средств в запасах.

Оптимальный размер страхового запаса обосновывается путем минимизации суммы затрат на его складирование, потерь от дефицита материальных ресурсов и связывания капитала в запасах. Однако при этом минимизируются только затраты звена закупки, которые могут быть не оптимальными для всего предприятия. Поэтому для окончательного установления размера запаса необходимо, чтобы его величина соответствовала заданной интенсивности движения материалопотока.

Обоснование объемов поставок материальных ресурсов и периодичность заказов осуществляется с помощью задач управления запасами (модели с фиксированным заказом, с заданным интервалом времени между заказами, с фиксированной периодичностью пополнения запасов до планового уровня, с пополнением запасов по запросу и т.д.).

Одним из наиболее обоснованных является метод статистического анализа. В частности, если нарушения в сроках поставки подчиняются закону нормального распределения, то среднеквадратичное отклонение σ в сроках поставки определяется по формуле:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot n_i}{\sum n_i}}, \quad (1)$$

где x_i – фактический срок поставки в i -м периоде;
 \bar{x} – средняя (или плановая) длительность периода поставки;
 $\sum n_i$ – количество наблюдаемых периодов поставки.

Затем по таблице вероятностей функции нормального распределения находится гарантийный процент бесперебойной работы предприятия при различной величине страхового запаса. При этом страховой запас в натуральном выражении $Z_{стр}$ определится по формуле:

$$Z_{стр} = (2...3) \cdot \sigma \cdot d_{ср}, \quad (2)$$

где $d_{ср}$ – среднесуточный расход материала [5, с. 423].

Движение текущих и страховых запасов показано на рисунке 1.

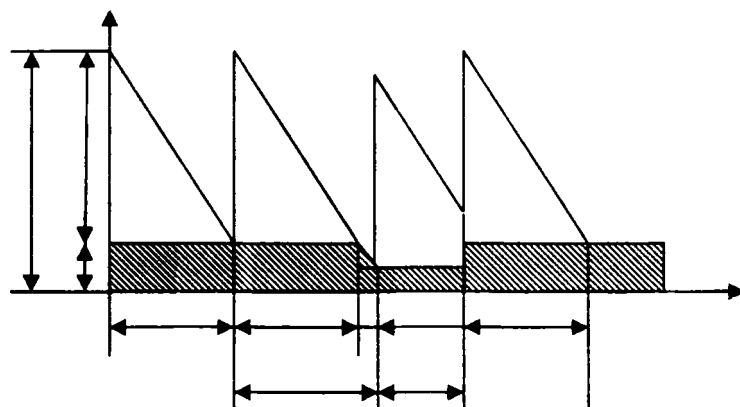


Рис. 1. Схема движения запасов материалов на складе предприятия:
 \triangle – текущий запас; \blacksquare – страховой запас; $n.p.$ – нормативный размер партии поставки;
 $t_{пост}$ – нормативный период поставки; $t_{пост.факт}$ – фактический период поставки; t_z – время задержки поставки очередной партии; $t_{сокр}$ – сокращенный срок поставки, равный $t_{пост} - t_z$

Итак, минимизация издержек, связанных с движением материалов на предприятии, достигается в том случае, если материалы транспортируются мелкими партиями в размерах, определяемых скоростью потребления. В этом случае как вместимость складов, так и объем погрузочно-разгрузочных работ у предприятия будут минимальными. Но этого можно добиться только в том случае, если предприятие будет снабжаться материалами «с колес», что, в свою очередь, требует доставки в нужном количестве к тому моменту, когда потребуются очередная их партия. Этот метод доставки принято называть упомянутой выше системой «точно в срок». Она используется при перемещении как внутренних, так и внешних предметов труда.

Лозунгом концепции является потенциальное исключение запасов материалов, компонентов и полуфабрикатов в производственном процессе. Исходной постановкой было то, что если производственное расписание задано, то можно так организовать процесс, что все материалы и полуфабрикаты будут поступать в нужном количестве, в нужное место и точно к назначенному сроку для производства или сборки готовой продукции. Для этого нужна оперативная передача данных между подразделениями и координация поставщиков деталей. В «Тойоте Моторс» это было достигнуто благодаря передаче информации в системе через специальные карточки «kanban» в пластиковом конверте, которые несут информацию о расходуемых и производимых количествах продукции. Эти карточки циркулируют внутри предприятия, а также между поставщиками, прикрепляясь к определенной детали или полуфабрикату.

Применение данной концепции позволяет значительно улучшить качество выпускаемой продукции, снизить себестоимость производства, практически сократить страховые запасы, ускорить оборачиваемость оборотного капитала фирмы.

Необходимость снижения логистических издержек и максимизации прибыли создает реальные предпосылки для создания механизма согласования противоречивых экономических интересов структурных подразделений промышленного предприятия и оптимизации потоковых процессов.

Хозяйственные отношения внутри предприятия не ограничиваются только рамками звеньев его логистической цепи. Кроме связей между подразделениями предприятия имеют место взаимоотношения и с другими участниками. Так, энергетическое хозяйство может находиться вне логистической цепи предприятия, но оно обеспечивает энергией его подразделения. Производством инструмента, инвентаря и оснастки для подразделений предприятия занимается инструментальное хозяйство, которое не участвует непосредственно в процессе движения и использования материалопотока. Однако эти отношения также характеризуются потоковыми процессами и нуждаются также в оптимизации (энергетические, информационные потоки, вспомогательные, материальные).

Рассматривать каждый такой поток в совокупности с логистической цепью предприятия не всегда представляется возможным и целесообразным. Для регулирования взаимоотношений между этими структурами предлагается использовать внутренние трансфертные цены, устанавливаемые на основе механизма товарно-денежных отношений.

По определению Д. Хан, трансфертные цены, или внутриконцерновые цены между отделениями представляют собой действующие в рамках концерна стоимостные оценки (нормативы стоимости) продукции и услуг, передаваемых одним отделением другому [6, с. 201].

Вид и величина трансфертных цен устанавливаются на основе целей, которые могут быть достигнуты при их применении. С их помощью может оцениваться деятельность структурных подразделений предприятия, а также планироваться и приниматься управленческие решения, в частности при:

- калькулировании цен на изготавливаемую продукцию;
- планировании продуктовой программы;
- обосновании финансовой политики предприятия.

В основу методик расчета закладываются два вида трансфертных цен: затратные и рыночные.

Рыночная трансфертная цена базируется на том, что приобретающее продукт или услугу подразделение не должно платить внутри предприятия больше, чем внешнему поставщику. К достоинству рыночных цен относится их объективный характер, не зависящий от взаимоотношений между подразделениями предприятия. Однако следует отметить, что рыночная цена не всегда явно выражена, поскольку тот или иной поставщик может устанавливать различные цены на практически одинаковые товары.

Поэтому, когда отсутствуют достоверные рыночные цены, используют затратные трансфертные цены, определяемые, как правило, на базе себестоимости продукции, предлагаемой подразделением, с добавлением заданной нормы прибыли. Затратным методом трансфертная цена определяется следующим образом:

$$C_{\pi} = \frac{(P_{\pi}^{ПС} + P_{\pi}^{ПП})}{N_{\pi}}, \quad (3)$$

$$\Pi_{\pi} = C_{\pi} \cdot \left(1 + \frac{H_p}{100\%}\right), \quad (4)$$

где C_{π} – плановая себестоимость единицы продукции, руб./ед.прод.;

$P_{\pi}^{ПС}$, $P_{\pi}^{ПП}$ – постоянные и переменные плановые составляющие себестоимость продукции, руб.;

N_{π} – объем потребляемой продукции по плану, ед.прод.;

Π_{π} – плановая цена единицы продукции, руб./ед.прод.;

H_p – норма рентабельности, %.

Однако такой метод формирования трансфертных цен не стимулирует продающих и покупающих подразделений в экономии ресурсов, поскольку любые колебания величины затрат и объемов потребляемой продукции непосредственно отражаются на цене. Так, если покупающие подразделения внедряют мероприятия по экономии ресурсов, то продающие, для компенсации роста себестоимости за счет увеличения постоянных затрат на единицу своей продукции, поднимают трансфертные цены, создавая конфликтные ситуации между подразделениями. Поэтому традиционные методики ценообразования, основанные на затратном методе, не отвечают требованиям логистики, поскольку не разрешают противоречивые экономические интересы различных подразделений, которые должны быть направлены на достижение общей цели предприятия [1, 2].

Предлагается, на основании анализа затратных методов ценообразования, усовершенствовать методику установления трансфертных цен, ориентированную на логистическую концепцию управления предприятием, следующим образом:

$$C_{СК} = \frac{P_{\Pi}^{ПР}}{N_{\Pi}} + \frac{P_{\Pi}^{ПС}}{N_{\Phi}}, \quad (5)$$

$$\Pi_{СК} = \left(1 + \frac{C_{СК} - C_{\Pi}}{C_{СК}}\right) \cdot \Pi_{\Pi}, \quad (6)$$

где $C_{СК}$ – скорректированная себестоимость единицы продукции, руб./ед.прод.;

N_{Φ} – фактический объем потребляемой продукции при более экономном ее использовании, ед.прод.;

$\Pi_{СК}$ – скорректированная трансфертная цена единицы продукции, руб./ед.прод.

На основе предлагаемой усовершенствованной методики появляется возможность выявить экономическую выгоду, которую получает продавец и покупатель продукции при рациональном ее потреблении:

$$\mathcal{E}_{\text{ПОК}} = \Pi_{\Pi} \cdot N_{\Pi} - \Pi_{СК} \cdot N_{\Phi}, \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{\text{ПРОД}} = N_{\Phi} \cdot (\Pi_{СК} - \Pi_{\Pi}), \quad (8)$$

где $\mathcal{E}_{\text{ПОК}}$, $\mathcal{E}_{\text{ПРОД}}$ – эффекты покупателя и продавца, получаемые вследствие повышения эффективности потребления продукции, руб.

Внедрение данной усовершенствованной методики в хозяйственную практику способствует повышению эффективности работы предприятия, поскольку ориентирует его структурные подразделения на рациональное потребление применяемых ресурсов, обеспечивая согласование противоречивых экономических интересов между ними.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеева, М.М. Планирование деятельности фирмы: Учебно-методическое пособие. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 248 с.
2. Баканов, М.М., Шеремет, А.Д. Теория экономического анализа. М.: Финансы и статистика, 1994. – 288с.
3. Глухов В.В. Основы менеджмента Учебно-справочное пособие. – СПб.: Специальная литература, 1995. – 327с.
4. Неруш Ю.М. Логистика: учеб. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2008. – 520 с.
5. Организация и оперативное управление машиностроительным производством: учебник Н.С. Сачко. – Мн.: Новое знание, 2005. – 636с.: ил. – (Техническое образование)
6. Хан Д. Планирование и контроль: концепция контроллинга: Пер. с нем. / Под ред. И с предисл. А.А. Турчака, Л.Г. Головача, М.Л. Лукашевича. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 800 с.

УДК 001.895

Костюкевич Е.Н

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ РИСКОВ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Развитие рыночных отношений в Республике Беларусь определило инновационную деятельность как единственный способ выживания белорусских предприятий независимо от

формы собственности и сферы их деятельности по всем стадиям жизненных циклов организаций, технологий и продуктов труда. Однако, имея ограниченные производственные и особенно финансовые ресурсы, предприятия, не всегда могут осуществлять крупномасштабные нововведения. Поэтому в инновационной политике предприятий преобладают менее рискованные и недорогие нововведения (улучшающие), снижающие степень эффективности производственных и технологических преобразований. Предприятия предпочитают осуществлять быстрокупаемые и мелкие мероприятия, а не те, которые дали бы более значительный, но отдаленный по времени эффект. При этом результативность инновационной деятельности прямо зависит от того, насколько точно произведена оценка и экспертиза риска возникновения потерь при вложении средств в инновации, а также от того, насколько адекватно определены методы управления им.

В настоящее время наиболее адекватным инструментом учета риска является *концепция приемлемого риска*. Современная концепция приемлемого риска трактует понятие риска как характеристику целенаправленной деятельности. Главной особенностью целенаправленной деятельности является то, что она осуществляется в соответствии с заранее сформулированным замыслом. *Концепция приемлемого риска применительно к анализу инновационной деятельности должна исходить из признания того факта, что риск не реализовать намеченный план всегда существует, ибо всегда остаются неустранимые полностью потенциальные причины, которые могут привести к нежелательному развитию событий и, в результате, к отклонению от выбранной цели.*

Следовательно, есть необходимость в определении ожидаемых убытков от инновационной деятельности, которые можно предусмотреть заранее. Сами потери от риска имеют определенную степень вероятности, что связано с факторами неопределенности. *В качестве количественной оценки неопределенности используется категория риска, т.е. измеримая вероятность потери части доходов.* При оценке экономического риска, автор [6] предлагает рассчитывать не только заранее предусмотренные убытки, но и неожиданно возникающие вероятные потери.

Зависимость этих факторов можно представить в виде *коэффициента риска*, который определится как:

$$P_r = \frac{P}{Q - L},$$

где P_r – коэффициент риска инноваций;

P – вероятные потери;

Q – полезный результат;

L – предусмотренные убытки.

Коэффициент риска определяет величину вероятных потерь в составе ожидаемых доходов от инноваций и своим повышением предупреждает об опасности намечаемых инвестиций.

Концепция приемлемого риска включает в себя два компонента: "оценку риска" и "управление риском". Оценка риска – это выявление и анализ источников происхождения риска, его генезис и определение масштабов риска в конкретной ситуации. Управление риском – это анализ ситуации, выработка и реализация рекомендаций или мероприятий, направленных на снижение риска до приемлемого (оптимального) уровня.

Оценка риска инновационной деятельности должна строиться на научном, техническом, технологическом, маркетинговом и социологическом изучении объекта как источника риска (рискового потенциала источника), анализе внешних и внутренних факторов риска, определении показателей оценки уровня риска, а также в установлении механизмов или моделей взаимосвязи показателей и факторов риска. Управление риском опирается на технико-технологический и экономический анализ, экономико-математические методы, нормативные регламенты, изучение рынка и другие исследования.

Основные проблемы изучения риска в инновациях заключаются в необходимости: выработки представления о риске конкретных нововведений, выявления пределов допустимого риска, разработки методов оценки, анализа и управления риском.

Рассмотрению рисков посвящено большое количество работ [1-7], в них даются различные подходы к классификации факторов, влияющих на формирование инновационных рисков (чистые, спекулятивные, внешние, внутренние и пр. риски). Эти классификации в силу особенностей отдельных проектов не могут претендовать на стабильность и могут изменяться и дополняться.

В работе [3] авторы выделяют следующие факторы риска, существенные для большинства промышленных предприятий Республики Беларусь: уровень инфляции, ставки налогов, объем инвестиций, объем сбыта, цена продажи, задержки платежей, потери от продаж, прямые издержки, отсрочка оплаты прямых издержек, общие издержки, заработная плата персонала, ставки по депозитам, ставки по кредитам, ставки дисконтирования.

В работе [4], например, предлагается классификация рисков по признакам объективности (рис. 1):

- *объективные* риски связаны с размером предприятия и обусловлены отраслевой принадлежностью, особенностями экономики и правового регулирования инноваций;
- *субъективные* связаны с неэффективностью внутреннего контроля, с недостатками учета технологических, финансовых и инвестиционных факторов.

При разработке инновационных проектов рекомендуется под инновационными рисками понимать следующие общие факторы, которые должны быть конкретизированы с учетом особенностей определенных проектов:

- опасность, что реализация инновационного проекта приведет к убыткам;
- опасность, что цель проекта не будет достигнута в намеченном объеме;
- вероятность угрозы потери организацией части своих ресурсов и дополнительных расходов в результате текущей операционной производственной и финансовой деятельности, которая осуществляется независимо от инноваций, но которая способствует их осуществлению;
- случайности, неопределенность и невозможность предугадать то, как будут осуществляться инновации;
- противодействия в обеспечении предприятия ресурсами, нарушения договорных обязательств, несовершенство государственного регулирования в области инноваций;
- неполнота, неточность знания законов деятельности в области инновационного бизнеса.

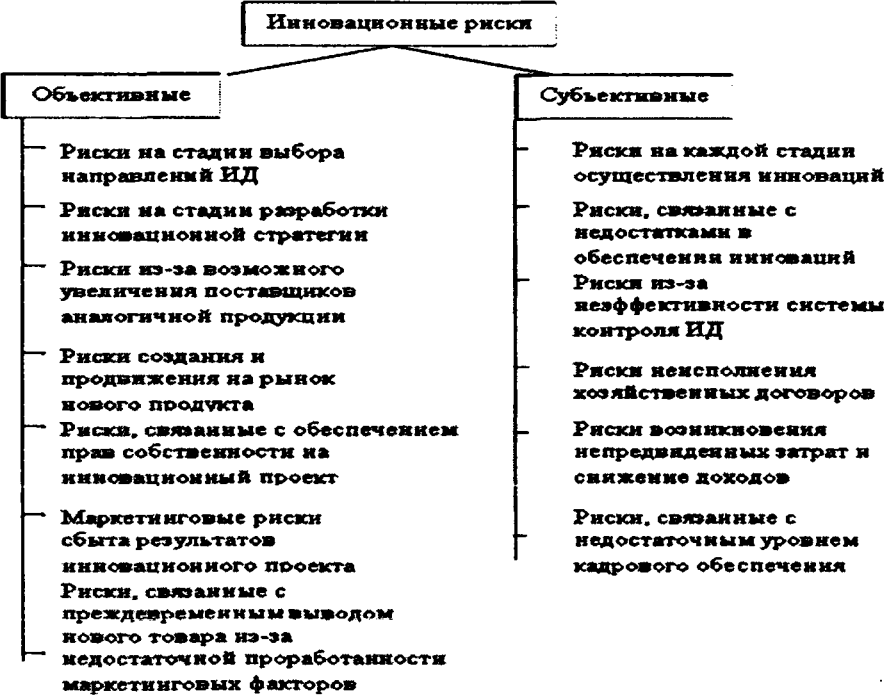


Рис. 1. Виды инновационных рисков по признакам объективности

С целью более полной оценки рисков инновационных проектов возникает необходимость совершенствования классификации факторов риска с учетом специфики экономической среды.

В целях нейтрализации отрицательного воздействия рисков на эффективность производства при планировании инновационной деятельности проводят их качественный и количественный анализ. *Качественный* анализ состоит в определении факторов риска, при которых он возникает. *Количественно* размер риска можно установить с помощью статистических (Z-статистика), аналитических и других методов. Вероятность наступления рискового события может быть определена субъективным или объективным методами. *Объективным* методом вероятность события устанавливается путем вычисления частоты, с которой оно происходит. *Субъективным* методом определения вероятности основан на субъективных оценках экспертов, консультантов или личном опыте лица, принимающего решение.

Величину риска измеряют двумя показателями: - *среднее ожидаемое значение* – средневзвешенная величина всех возможных результатов, когда вероятность каждого результата считается весовой характеристикой соответствующего значения:

$$r_e = \sum_{i=1}^n p_i r_i,$$

где n – число возможных результатов;

p_i – вероятность i -го результата;

r_i – i -й возможный результат инноваций.

- *колеблемость ожидаемого значения* – степень отклонения ожидаемой величины от среднего значения, которое определяется путем расчета дисперсии и среднего квадратичного отклонения.

Количественной оценкой риска инновации принято считать вариацию (var) – разброс возможных результатов инновационного решения относительно ожидаемого значения (математического ожидания). Этот показатель может быть представлен как среднее квадратичное отклонение от ожидаемого результата:

$$\text{var} = \sum_{i=1}^n p_i (r_i - r_e)^2$$

Среднее линейное отклонение (дисперсия): $\sigma = \sqrt{\text{var}}$.

Относительное линейное отклонение оценивается с помощью показателя стандартного отклонения, или колеблемости (γ):

$$\gamma = \sigma / r_e$$

Чем он выше, тем более рискованной считается данная инновация.

Для уменьшения риска и повышения надежности проекта проводят анализ его чувствительности, т.е. определяют степень влияния на эффективность (срок окупаемости вложений, уровень рентабельности и пр.) случайных факторов нестабильности условий рынка и производства. Для повышения устойчивости инновационной деятельности рекомендуется подвергать анализу совокупность инновационных проектов, составляющих инновационный портфель предприятия. С этой целью создается матрица рисков, присущих выбранной совокупности проектов. В матрицу, например, могут войти такие риски как:

- платежеспособность предприятия;
- производственно-технологический риск;
- риск создания новой продукции;
- риск, связанный с игрой конкурентов;
- риск недополучения внешних инвестиций и пр.

На основе анализа безубыточности можно определить вероятность снижения прибыли до определенного уровня и чувствительность к какому-либо отдельному виду риска. Данная методика может использоваться к любой совокупности проектов и видов рисков как инструмент многофакторного анализа эффективности инновационных проектов.

Результативность инновационной деятельности напрямую зависит от того, насколько точно была проведена оценка и экспертиза риска, а также от адекватности определения методов управления им. Особое значение управление рисками приобретает на стадии инвестирования при принятии решения о начале исследований и разработки, поскольку этот этап жизненного цикла инновационного проекта имеет максимальную неопределенность, а, следовательно, характеризуется высокими рисками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романова, М.В. Управление рисками инновационной деятельности // Финансы и кредит. – М., 2001. – № 1.
2. Мазур Е.П., Смирнова Г.А., Титова М.Н. Инновационные риски и деятельности предприятия // Инновации. – Мн., 2001. – №5.
3. Давыденко Л.Н., Смирнов М.Н. Инновационное проектирование как инструмент выбора оптимальной стратегии // Предпринимательство в Белоруссии. – Мн., 2001. – № 5.
4. Харин А.А., Коленский И.Л., Пущенко Н.Н. Управление финансами в инновационных процессах: учебное пособие – М.: Высшая школа, 2003. – 295 с.
5. Шапкин А.С. Экономические и финансовые риски: оценка, управление, портфель инвестиций – М.: Издательство-торговая корпорация “Дашков и К^о”, 2004. – 544 с.
6. Шахкулян Р., Джугурян А. особенности оценки риски инновационных процессов в промышленности Армении // Проблемы теории и практики управления. – М., 1997. – № 5.
7. Успенский В.А. Бизнес-проблема: управление риском // Финансы и кредит. – М., 2004. – № 7.

УДК 681.3.01:339.138

Лавренова О.А., Бачанцева Е.А.

ОСОБЕННОСТИ РЕКЛАМЫ В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В современных экономических условиях успешная работа предприятий и организаций практически невозможна без хорошо организованной комплексной маркетинговой деятельности. Реклама продукции, услуг и деятельности предприятия - это важнейшая составная часть маркетинговых мероприятий, непосредственный информационный выход на потребителя. В маркетинге реклама определяется как «...любая оплаченная форма не личного представления и продвижения идей, товаров и услуг». Реклама является, пожалуй, самым действенным способом вывода на рынок продукции компании. Как говорят, реклама - это двигатель торговли. Именно реклама воздействует на сбыт товара. Эффективная реклама знакомит целевую аудиторию с информацией о производителе и его продукции или услугах, формирует положительный имидж компании и ее товаров. Реклама для современных компаний - это не прихоть и не дань моде. Это естественный инструмент экономики и важный регулятор рыночной системы.

Интересным представляется исследовать рекламу как сложную продукцию особого назначения. С точки зрения основных целей и задач выделяют следующие типы рекламы:

1. **Реклама торговой марки** - преобладающий тип визуальной и визуально-текстовой рекламы, направленной, прежде всего, на формирование высокой степени узнавания потребителем конкретных торговых марок.

2. **Торгово-розничная реклама** - реклама подобного типа сосредоточена на конкретном объекте производства или реализации продукции. Главная задача торгово-розничной рекламы -

стимулирование притока потенциальных покупателей путем информирования о месте и условиях предоставления товаров или услуг.

3. Адресно-справочная реклама - разновидность торгово-розничной рекламы. Задача такой рекламы заключается в предоставлении максимального количества коммерческой информации сразу нескольким группам потребителей.

4. Реклама с обратной связью - еще одна разновидность торгово-розничной рекламы, которая предполагает обмен информацией с потенциальным потребителем. Наиболее распространена прямая почтовая рассылка по конкретным адресатам, представляющих наибольший интерес для рекламодателей и рекламораспространителей в качестве вероятных покупателей (например, в форме каталогов).

5. Бизнес-реклама - профессионально-ориентированная реклама, предназначена для распространения среди групп населения, сформированных по своей принадлежности к тому или иному роду занятий. Распространяется такая реклама преимущественно через специализированные издания.

6. Корпоративная реклама - почти не содержит общепринятой рекламной информации и служит для подготовки и последующего склонения части общественного мнения (определенного сегмента покупателей) к точке зрения рекламодателя.

7. Политическая реклама - один из самых заметных и наиболее влиятельных типов рекламы. Формируется позитивный образ политика.

8. Общественная, или социальная реклама ориентирована на аудитории, объединенные по своему социальному статусу (например, матери-одиночки, бездетные семейные пары, подростки, и т.д.)

С точки зрения практического применения более предпочтительной представляется классификация рекламных средств, которые служат для распространения рекламного сообщения и способствуют достижению необходимого рекламного эффекта. С помощью рекламных средств рекламодатель стремится оказать воздействие на потенциальных потребителей объекта рекламирования и побудить их тем самым к совершению определенного действия.

Способы передачи сообщений (каналы, средства, носители) чрезвычайно разнообразны, в рекламе их насчитывается порядка сотни. Поэтому попытки строго классифицировать все эти средства наталкиваются обычно на серьезные трудности и единой классификации средств рекламы до настоящего времени нет. Существует целый ряд классификаций рекламы по различным признакам: по способу выражения и характеру воздействия, по охвату территории и т.п.:

1. По типу спонсора:

- а) от имени производителей и торговых посредников;
- б) от имени частных лиц;
- в) от имени правительства;
- г) общественная (социальная);

2. По типу целевой аудитории:

- а) для сферы бизнеса;
- б) для индивидуального потребителя;

3. По размеру территории, охватываемой рекламной деятельностью:

- а) локальная;
- б) региональная;
- в) общенациональная;
- г) международная;
- д) глобальная;

4. По предмету рекламы:

- а) товарная;
- б) реклама идей;
- в) реклама личности;
- г) реклама территории;

5. По стратегической цели рекламной кампании:

- а) формирующая спрос;
- б) стимулирующая сбыт;

- с) позиционирующая товар;
- 6. По способу воздействия:
 - а) зрительная;
 - б) слуховая;
 - с) зрительно-слуховая;
 - д) обонятельная;
 - е) осязательная;
- 7. По характеру воздействия:
 - а) жесткая;
 - б) мягкая;
- 8. По способу передачи
 - а) печатная;
 - б) электронная;
 - с) внешняя.

Рекламная информация может доводиться до адресатов с помощью средств массовой информации: телевидения, радио, печати, сети Интернет и др., при этом используются разнообразные средства рекламы, которые отличаются друг от друга своими составными элементами, особенностями применения и распространения, массовостью и эффективностью воздействия на адресатов и т.д.

В табл. 1 приведены результаты анализа носителей рекламы с точки зрения их эффективности для рекламодателя в условиях мирового финансового кризиса. По мнению как российских, так и белорусских экспертов телевидение останется одним из основных каналов, потому что с точки зрения эффективности для массовых брендов именно ТВ имеет максимальный охват и минимальную стоимость контакта. В то же время эксперты единодушны во мнении, что сокращение рекламных бюджетов коснется в первую очередь прессы, радио и наружной рекламы.

По данным Ассоциации коммуникационных агентств России, в 2008 году объем рынка рекламы в прессе увеличился только на 11% в рублевом эквиваленте, что меньше инфляции, составившей в России 13,3% за год. При этом в первой половине года рынок показывал значительный рост, однако кризис привел к сокращению объемов рекламы в прессе уже в конце 2008 года.

Спад объемов продаж в печатных СМИ характерен не только для России, но и для всего мира. По данным консалтинговой компании Oxford Analytica, падение рекламных доходов грозит закрытием или сокращением тиражей каждой десятой газете или журналу. При этом качество материалов в СМИ будет ухудшаться за счет увольнения сотрудников. В самом худшем положении находится белорусская пресса, причем эксперты отмечают, что ситуация усугубляется ее невысоким качеством. Одним из вариантов преодоления кризиса для печатных изданий может быть частичный или полный переход в сеть Интернет, где расходы значительно ниже.

В последнее десятилетие рекламный рынок демонстрировал высокие темпы роста во всем мире. Средний прирост по рынку в целом был на уровне 30%. Белорусский рынок рекламы также развивался динамично. Интересными представляются данные агентства ZenithOptimedia по объемам рекламного рынка Беларуси (рис. 1).

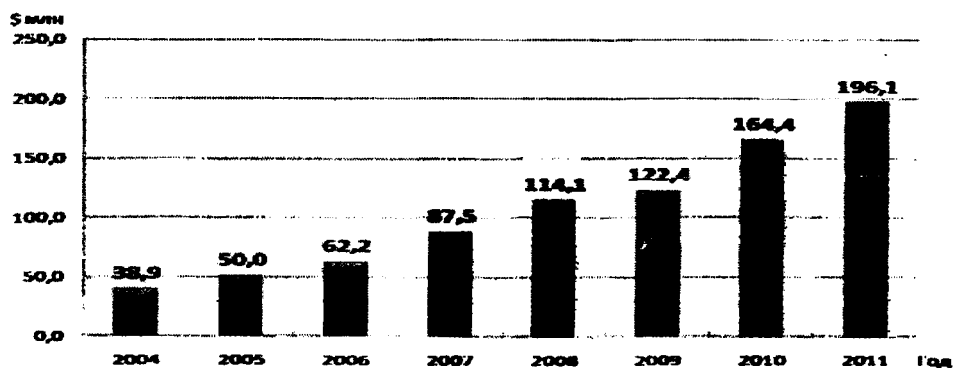


Рис. 1. Объем рекламного рынка Беларуси, прогноз до 2011 года (\$ млн)

Заметно, что в 2009 году темпы роста рынка рекламы в Беларуси значительно снизятся. Однако, положительная динамика сохранится, хотя мировой кризис внесет значительные коррективы. По пессимистичным прогнозам падение составит не менее 40%, а по оптимистичным – не превысит 20%. По прогнозам Министерства торговли Беларуси рост рекламного рынка в 2009 году составит всего 5%, что по сравнению с прошлым годом означает сокращение на 20%.

Таблица 1 – Сравнительная характеристика носителей рекламы

Носитель	Плюсы	Минусы	Использование во время кризиса
Телевидение	<ul style="list-style-type: none"> Низкая стоимость контакта Аудиовизуальная подача информации Огромный охват 	<ul style="list-style-type: none"> Необходимость показа рекламы несколько раз, чтобы гарантировать просмотры рекламы Более молодая аудитория уходит в Интернет Необязательность просмотра рекламного блока 	Скорее да, чем нет. Несмотря на рост цен, пока остается отличным решением по критерию «цена/охват»
Радио	<ul style="list-style-type: none"> Относительно невысокая стоимость размещения Доступность многим слоям населения 	<ul style="list-style-type: none"> Отсутствие визуальной составляющей Сложная оценка эффективности 	В меньшей степени. Зависит от задач рекламодателя
Наружная реклама	<ul style="list-style-type: none"> Возможность географической локализации Рекламу видят те, кому не доступны другие форматы 	<ul style="list-style-type: none"> Довольно высокая стоимость размещения Короткий период контакта с целевой аудиторией Крайне сложная оценка эффективности 	Только при условии адекватных цен на носители
Печатные издания	<ul style="list-style-type: none"> Избирательность целевой аудитории Доступность в любое время Возможность повторного обращения 	<ul style="list-style-type: none"> Отсутствие аудиовизуальной составляющей Необязательность просмотра рекламного блока Недостаточная оперативность и кратковременность существования Высокая конкуренция Качество рекламы зависит от качества издания (бумаги) 	Возможно, да. Зависит от задач рекламодателя (для узкой аудитории)
Интернет	<ul style="list-style-type: none"> Низкая стоимость контакта Доступность в любое время Мультимедийность Сегментированный охват Возможность персонализации рекламного воздействия Возможность контроля над кампанией, возможность, получения подробных статистик Возможность отследить ROI (возврат на инвестиции) от рекламной деятельности 	<ul style="list-style-type: none"> Необязательность просмотра рекламного блока 	Да (в связи с неуклонным ростом платежеспособной части Интернет-аудитории и снижением тарифов на широкополосный доступ)

В табл. 2 приведены объемы в денежном выражении основных видов рекламных носителей белорусского рынка, включая прогноз до 2011 года.

Данные по ежегодному приросту в различных сегментах рекламного рынка Беларуси включая прогноз до 2011 года, приведены в табл. 3.

Аналитики прогнозируют, что в 2009 году рост рекламных затрат снизится до отметки 7,3%.

Таблица 2 – Объем основных видов масс-медиа в рекламном секторе Беларуси, (\$ млн)

Год	Всего	Пресса	ТВ	Радио	Наружная реклама	Интернет
2005	50,0	13,0	26,0	2,0	8,3	0,7
2006	62,2	13,0	35,0	3,5	9,5	1,2
2007	87,5	15,0	53,0	4,5	12,0	3,0
2008	114,1	18,0	70,0	6,0	13,8	6,3
2009	122,4	18,9	75,0	6,3	14,4	7,8
2010	164,4	21,7	109,0	7,5	16,5	9,7
2011	196,1	25,0	131,0	9,0	19,0	12,1

Таблица 3 – Ежегодный прирост в различных сегментах рекламного рынка Беларуси (%)

Период	Всего	Пресса	ТВ	Радио	Наружная реклама	Интернет
06 vs 05	24,4	0,0	34,6	75,0	14,5	71,4
07 vs 06	40,7	15,4	51,4	28,6	26,3	150,0
08 vs 07	30,4	20,0	32,1	33,3	15,0	110,0
09 vs 08	7,3	5,0	7,1	5,0	4,3	23,8
10 vs 09	34,3	14,8	45,3	19,0	14,6	24,4
11 vs 10	19,3	15,2	20,2	20,0	15,2	24,7

С точки зрения структуры рекламного рынка, то в последние два года по данным ZenithOptimedia изменения незначительны: некоторое снижение доли рынка демонстрирует сектор наружной рекламы (-1,6%) и печатных изданий (-1,3%), а львиная доля рынка принадлежит рекламе на телевидении (рис. 2), хотя по прогнозам в 2009 году этот сегмент снизит темпы роста до 7,1%.

Самым быстрорастущим медиа остается сеть Интернет. Так, расходы на интернет-рекламу в Беларуси выросли в 2007 году на 150%, в 2008 году — более чем на 110%, а в 2009 году ожидается рост на уровне 24%. Это, в первую очередь, связано со стремительным ростом интернет-индустрии. Проникновение интернет в Беларуси уже составляет по оценкам различных экспертов около 30%. Посещаемость в Байнете увеличилась в два раза за последний год, что свидетельствует о растущем интересе к этому каналу и к локальному контенту в частности. Кроме того, некоторые российские сайты стали доступны рекламодателям из Беларуси: таргетингом на белорусскую аудиторию. Ожидается, что часть рекламных бюджетов будет перераспределяться на эти площадки.

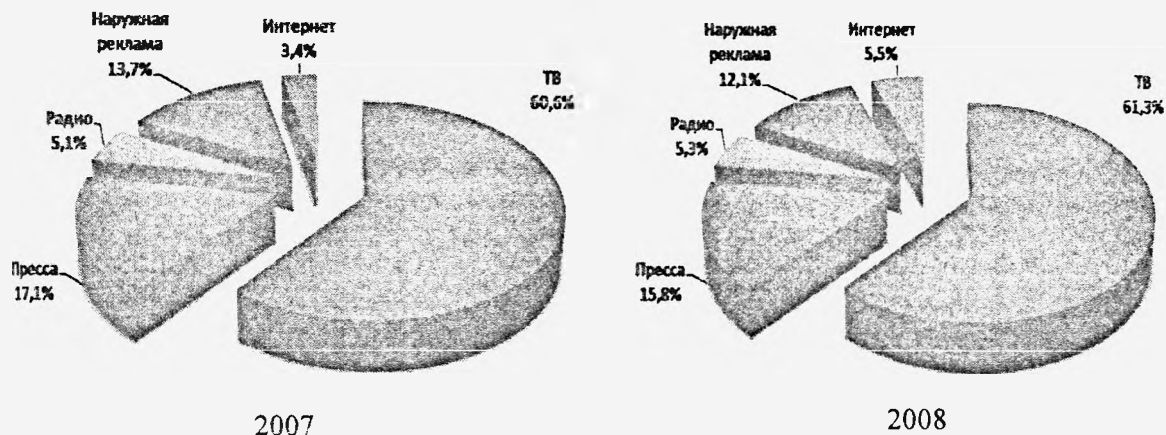


Рис. 2. Доли основных видов масс-медиа в рекламном секторе Беларуси

Популярность рекламы on-line можно в первую очередь объяснить тем, что интернет позволяет получить контроль над рекламной кампанией в виде подробных статистик, предоставляет возможность четкого таргетирования рекламы. К тому же онлайн-реклама дает возможность отследить ROI (возврат на инвестиции) от рекламной деятельности, что в период финансового кризиса особенно актуально для многих компаний.

Многие эксперты отмечают, что хорошие перспективы имеет реклама в активно развивающихся социальных сетях, которые могут обеспечить прямой контакт между рекламодателями и клиентами. В рекламных кампаниях могут быть задействованы и аккаунты в социальных сетях, и корпоративные блоги, и обои для компьютеров и прочие виджеты специально для потребителя от конкретной компании. Многие компании уже открывают в рамках социальных сетей свои веб-страницы, привлекающие существующих и потенциальных клиентов.

Таким образом, очевидно, что в кризисное время удерживают и расширяют свою долю рынка именно новые форматы рекламы: видеореклама в магазинах, в общественном транспорте, видеобаннеры на улицах городов, баннерная и контекстная реклама в сети интернет, видеореклама на веб-страницах и др. Большинство из «новых медиа» являются не только улучшенным вариантом демонстрации рекламного сообщения, но и обладают расширенными функциональными возможностями, имеют более точный выбор целевой аудитории, более экономичный бюджет, а также более плотный контакт с потребителем за счет интерактивности. Естественно, что те рекламные носители, которые не могут предложить уникальных свойств, будут сдавать свои позиции на рынке. Но, невзирая на сложную экономическую ситуацию, большинство компаний не будет отказываться от рекламы, просто реклама должна стать более дешевой и максимально эффективной. Многие зарубежные рекламодатели это уже поняли, судя по состоянию рынка онлайн-рекламы и «новых медиа». Естественно, что в условиях снижения рекламных бюджетов рекламодатели будут стремиться оптимизировать свои затраты, находить комплексные и качественные решения, фокусируя внимание на самых эффективных носителях рекламы. Рекламодатели будут обращать внимание в первую очередь на стоимость контакта, охват целевой аудитории и уровень креатива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Успенский, И. Энциклопедия Интернет-бизнеса /И. Успенский. – СПб.: Питер, 2001. – 432с.
2. Классификация рекламы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.nrtin.ru/article/reklama/klaccifikacia_reklamy.htm, свободный. – Загл. с экрана.
3. Классификация рекламы - Реклама - информация для вашего успеха [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.promoobzor.info/klaccifikaciya-reklamy.html>, свободный. – Загл. с экрана.
4. Преимущества и недостатки рекламы в прессе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://indar.by/topmenu/uslugi/newspapers/opresse/sravnienie/>, свободный. – Загл. с экрана.
5. Есть мнение.

Реклама и кризис: взгляд рекламиста>Практика>Школа>Marketing.by [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://marketing.by/main/school/practice/0024369>, свободный. – Загл. с экрана 6. Агентство ZenithOptimedia скорректировало прогноз роста рекламного рынка Беларуси до 2011 года прессе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://marketing.by/main/marketanalytics/0023918>, свободный. – Загл. с экрана 7. Кризис на развороте. Объемы рекламы в прессе значительно упали [Издатель.KZ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://izdatel.kz/newsdigest/1176121266-krizis-na-razvorote.-obemy-reklamy-v.html>, свободный. – Загл. с экрана.

УДК 338.(075.2)

Костюкевич Е.Н.

ПАТЕНТНО-ЛИЦЕНЗИОННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ КАК ФАКТОР ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

За последнее десятилетие в мире во всех сферах экономики заметно возросла значимость нематериальных активов и важнейшей из их составляющей - объектов интеллектуальной собственности (ОИС). Мировая практика свидетельствует, что продукция становится все более наукоемкой, а товары, производимые на базе ОИС, более конкурентоспособны.

Наряду со специализацией и концентрацией научных исследований и разработок быстро прогрессирует неравномерность развития науки и техники по странам мира, а разрыв в уровне исследований и разработок имеет тенденцию к увеличению. Это порождает конкуренцию в исследованиях и разработках и определяет неравномерное опережающее развитие промышленного производства в той или иной стране, области науки и техники. Значительное ускорение процесса разработки и внедрения новой техники требует дополнительных материальных и финансовых ресурсов.

Международная и отечественная практика экономических расчетов показывает, что, как правило, увеличение темпов исследований в два раза требует увеличения материальных, трудовых и финансовых ресурсов не менее чем в 6 раз. При дефиците инвестиционных ресурсов на НИОКР, который существует в Республике Беларусь, увеличение темпов исследований в два раза для республики практически нереально. По расчетам профессора Н.С. Сачко [1], даже при увеличении в 4 раза затрат на разработку нового грузового автомобиля, обеспечивающих снижение ее сроков с 7 до 3 лет, сбыт новой продукции и прибыль предприятия за весь жизненный цикл возрастает примерно на 30 %.

Однако, ускорение сроков разработки и внедрения в производство научно-технических достижений оказывает большое влияние на эффективность экономики. Сокращение этого срока на 1 год обеспечивает, по расчетам профессора Н.С. Сачко, прирост ВВП примерно на 0,4-0,6% в год и, кроме того, позволяет высвободить крупные средства, ассигнованные на проведение опытно-конструкторских работ, связанных с разработкой и внедрением новой техники и находящихся в своеобразном научном заделе. Хотя они и относятся ежегодно на себестоимость продукции, но по своей сути представляют долговременные затраты. Сумма этих средств (S_n) тем выше, чем продолжительнее сроки разработки и внедрения технических новшеств и может быть оценена так:

$$S_n = B_t \cdot d_n \sum_{i=1}^{\tau} \frac{1}{(1 + P_p)^{\tau}},$$

где V_t – объем ВВП в году t ;

d_n – норма отчислений на науку и внедрение в производство новых научно-технических достижений (инновационный фонд);

P_p – годовой темп прироста ВВП.

О сумме средств, связанных в научном заделе в зависимости от величины τ можно судить по данным, приведенным в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика научного задела при различных значениях τ при $d_n = 0,03$ и $P_p = 0,1$

Показатель	Длительность разработки и внедрения новой техники и технологии, τ , лет					
	0	1	2	3	4	5
Сумма средств, связанных в экономике страны в млрд.долл.	0	2,7	5,2	7,4	9,4	11,2

Таким образом, сокращение времени разработки и внедрения новейших научно-технических достижений позволило бы высвободить около 2 млрд. долл. авансированных на их проведение. Кроме того, сокращение продолжительности опытно-конструкторских и технологических разработок дает возможность увеличить объем ассигнований на эти цели и тем самым увеличить масштабы внедрения научно-технических достижений. По расчетам, каждый год сокращения срока разработки внедрения новой техники и технологии позволяет расширить их применение в экономике примерно на 10%.

Такие темпы роста демонстрирует китайская экономика – 10% в год в среднем за последние 15 лет, что дает соответствующие конкурентные преимущества на мировом рынке. Для самой страны это привело к быстрому увеличению производительности труда, изменению структуры ВВП в пользу обрабатывающей промышленности и сферы услуг, а также повышение инновационной компоненты роста (наукоемкого производства и экспорта, численности научно-инженерных кадров). Доля наукоемкой продукции в экспорте Китая выросла с 5% в начале 1990-х годов до 30% в 2005 году. Хотя следует иметь в виду и национальную специфику экономики этой страны (малооплачиваемые рабочие места в промышленности, высокая доля экспорта информационного оборудования (компьютеры, телефоны) и бытовой техники).

В качестве одного из путей сокращения сроков начала производства новой продукции, многие авторы называют активизацию международного инновационного обмена. Международная торговля лицензиями оказывает влияние не только на уровень и качество разрабатываемой и применяемой новой техники и технологии, но и на темпы научно-технического прогресса и социально-экономического развития страны. Предприятия Республики Беларусь, обладающие высоким научно-техническим потенциалом, должны активно включаться в процесс патентно-лицензионной деятельности, которая является неотъемлемой частью инновационной политики предприятия. По данным комиссии ООН, Республика Беларусь обладает научными разработками, коммерческая стоимость которых оценивается в миллиарды долларов, в то же время в стране не отработан экономический механизм, позволяющий эффективно продвигать их на рынок [3].

Особенностью инновационной экономики является приоритетное развитие наукоемкой продукции и формирование рынка объектов интеллектуальной собственности (ОИС), которое находит отражение, как было показано выше, в высоких темпах прироста ВВП. Государственной программой инновационного развития Республики Беларусь на 2006–2010 гг. (Указ Президента РБ от 6 июля 2005 года № 315) утверждены приоритетные направления научно-технической деятельности в области ресурсосберегающих и энергоэффективных технологий производства конкурентоспособной продукции, новые материалы и новые источники энергии; для машиностроительного комплекса намечены основные направления инноваций в области технологического перевооружения общемашиностроительных производства за счет автоматизации процессов проектирования и изготовления продукции, применения прогрессивных методов

высокоточной обработки конструкционных материалов и повышения качества поверхностей деталей и металлоконструкций, механизация и автоматизация сборочных процессов, развитие современных методов контроля и диагностики деталей и узлов в процессе изготовления и эксплуатации.

Из всех форм внешнеэкономических и научно-технических связей именно патентно-лицензионная деятельность позволяет обеспечивать воспроизводство новой техники и технологии, создание на их базе более совершенной технологии последующих поколений и ликвидацию наметившегося отставания в уровне и качестве разрабатываемой и применяемой техники и технологии по основным направлениям научно-технического прогресса. Это связано с тем, что только с лицензиями передается ноу-хау, без знания которого воспроизводство новейшей технологии практически невозможно. Кроме того, продавая лицензии по собственным разработкам, предприятия обретают устойчивые конкурентные преимущества, связанные с получением интеллектуальной ренты, максимальной добавленной стоимости и наиболее высокой финансовой оценкой всех видов своих активов. Для собственника ОИС (например, технологии) такая сделка является инструментом проникновения на рынок и закрепления на нем. Лицензионному договору, как правило, сопутствуют сделки по поставке сырья, оборудовании, а также договоры на консалтинговые и инжиниринговые услуги, сервисное обслуживание продукции, выпускаемой по данной технологии.

Вопросы импорта инноваций требуют тщательного изучения в правовом, экономическом и организационном плане. Это требует серьезной проработки на патентную чистоту, гарантий правового характера, учета национальной безопасности, ведь зависимость от иностранных технологий не менее опасна, чем от импорта энергоресурсов.

Коммерциализация инновационного продукта имеет место и развивается, только если существует экономический интерес, выраженный в получении прибыли для субъекта хозяйствования и соответствующего материального вознаграждения для автора интеллектуального продукта. Т.е. при оценке объекта лицензии лицензиару (продавцу) нужно исходить из концепции выгоды применения лицензионной технологии у покупателя. В этой связи встает ряд вопросов, связанных с неоднозначностью материального выражения самого интеллектуального продукта инновационной деятельности (идея, изобретение, ноу-хау, технология, другая научно-техническая продукция). Его будущее практическое использование может потребовать значительных финансовых вложений. Объемы спроса, размеры рынка, будущая рентабельность могут быть вообще на начальном этапе неизвестны.

Стоимостная оценка, стимулирование патентно-лицензионной деятельности на предприятиях, введение в хозяйственный оборот объектов интеллектуальной собственности являются основными элементами экономического механизма патентно-лицензионной деятельности.

Можно выделить две основные формы коммерческого использования ОИС:

- продажа прав на результаты интеллектуальной деятельности (полностью или частично на основе лицензионного договора;

- использование ОИС в собственной финансово-хозяйственной деятельности.

При реализации патентно-лицензионной деятельности и решении вопроса о технико-экономической целесообразности приобретения лицензий должен быть решен ряд вопросов: 1) по каким приоритетным направлениям необходимо проводить собственные разработки (с обоснованием экономической эффективности привлекаемых в них инвестиций, их перспектив для дальнейшего развития технологии и ее экспорта); 2) какой технико-экономический эффект получит народное хозяйство от приобретения (продажи) лицензий и освоения их в конкретных производственных условиях; 3) насколько технически прогрессивен объект лицензии (новой техники) и следует ли приобретать его для внедрения в производство.

Цена лицензии может определяться различными методами, которые зависят от технико-экономической характеристики предмета лицензионного соглашения, от этапа и уровня ее проработки и пр. Общие принципы расчета цены, как правило, сводятся к выявлению возможного объема прибыли лицензиата (покупателя) и определению пропорций раздела ее между лицензиатом и лицензиаром (продавцом).

Доля лицензиара обычно исчисляется не от всей прибыли, а только от той ее части, которая была получена благодаря использованию лицензии. Однако попытки лицензиара опре

делить возможную прибыль лицензиата от использования лицензии зачастую просто безуспешны. Например, продана лицензия на уникальный подшипник, который будет изготавливаться на шарикоподшипниковом заводе, где производится помимо лицензионного 100-300 модификаций различных подшипников. Пытаться выделить прибыль, полученную за лицензионный подшипник, совершенно безнадежное дело для лицензиара.

Значительное число экономических показателей, необходимых для определения цены ОПС, таких как объем производства продукции, ее цена и себестоимость, возможная прибыль от ее использования и другие, могут быть определены только прогностическими оценками путем проведения маркетинговых исследований на базе использования информации конкурентов. Однако в этой области это проблематично, т.к. как правило, сохраняется в тайне.

Традиционно для оценки объектов интеллектуальной собственности используются доходный, затратный и сравнительный (рыночный) подходы.

Доходный подход предполагает оценку стоимости ОПС по будущим доходам от его использования. При этом определяется текущая стоимость чистого дохода, который может быть получен от использования оцениваемого объекта за экономически обоснованный срок службы.

По затратному подходу стоимость оценивается в соответствии с затратами на создание (приобретение) и правоохрану объекта.

При сравнительном подходе стоимость объекта определяется по цене сделок купли-продажи аналогов.

Каждый подход имеет свои методы, представленные на схеме 1.



Рис. 1. Классификация основных методов оценки объектов интеллектуальной собственности

Исходными принципами, на которых строятся методики оценки являются:

- ✓ принцип окупаемости, согласно которому стоимость объекта должна окупать сумма вложений в приобретение или разработку и производственное освоение объекта; в большинстве случаев эта величина рассматривается как минимальная стоимость объекта;
- ✓ принцип ограничения по доходу, согласно которому стоимость объекта не должна быть больше суммы возможного дохода, получаемого предприятием от продажи продукции, работ, услуг, производимых с использованием данного объекта;
- ✓ принцип денежных потоков, согласно которому при расчете стоимости объекта необходимо учитывать такие основные факторы, как фактор времени и инфляция.

Рассмотрим некоторые из перечисленных методов, применяемых в основном для оценки объектов промышленной собственности (научно-техническая продукция, изобретения, полезные модели, промышленные образцы).

1. *Метод стоимости создания.* На основе расчета затрат на получение тождественного результата. При решении вопроса о целесообразности заключения соответствующей сделки (приобретение патента, заключение лицензионного договора) потенциальный лицензиат сравнивает затраты по сделке с теми затратами, которые он понесет, пытаясь собственными силами (или используя другие альтернативные варианты) добиться такого же результата, который достигается с помощью объекта сделки (изобретения). Для лицензиата сделка будет выгодной, если $C \leq S_c$, где

C — цена сделки (например, лицензии на использование изобретения); S_c — ожидаемые затраты лицензиата на проведение собственных исследований, обеспечивающих тождественный результат.

Такой подход нельзя назвать эффективным, т.к. всегда есть риск не получить тождественного результата, а время и ресурсы потрачены.

2. *На основе использования ставки роялти R_s .* В большинстве случаев при заключении лицензионных договоров предусматривают текущие платежи лицензиата в пользу лицензиара — роялти. При этом лицензиар получает периодические отчисления (платежи), зависящие от объема продаж продукции лицензиатом. Под ставкой роялти (R_s) понимают процентную величину этих платежей от стоимости продаж. Она зависит также от правовой защищенности разработки, вида лицензии, объема продаж лицензионной продукции, передачи ноу-хау, необходимости заключения сопутствующих договоров.

Стоимость лицензии будет определена как:

$$S_{OIC} = \sum_{t=1}^{T_L} \frac{BPI_t \cdot (R_s + 100\%)}{(1 + E)^t},$$

где BPI_t — выручка от реализации продукции в t -м году расчетного периода;

T_L — срок действия лицензионного договора, лет;

E — ставка дисконтирования, доли ед. При расчете ставки дисконтирования учитывается ряд факторов (требуемая доходность, риск, инфляция и др.).

Величина ставки R_s устанавливается из соотношения:

$$R_s = \frac{d \cdot R_p}{100}, \%$$

где R_p — показатель прибыльности (рентабельности) производства и реализации продукции у лицензиата, %; d — доля лицензиара в прибыли лицензиата, %.

Стандартные роялти составляют 20-25% от дополнительной прибыли лицензиара или 0,5-14 % от объема продаж лицензионной продукции.

При прочих равных условиях размер роялти зависит от правовой защищенности разработки, вида лицензии, объема продаж лицензионной продукции, срока передачи ноу-хау, необходимости заключения сопутствующих договоров (поставка сырья, техническая помощь и пр.), ситуации на рынке.

3. *Метод выигрыша в себестоимости.* На основе данных об ожидаемом снижении себестоимости продукции при использовании изобретения.

Зная сумму экономии на затратах от использования объекта лицензии, стоимость ОИС можно рассчитать по формуле:

$$S_{OIC} = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta Z_t}{(1 + E)^t},$$

где T — продолжительность предполагаемого периода использования инновации, лет;

$\Delta 3t$ - экономия на затратах при использовании инновации в t -м году расчетного периода, млн. руб.

4. *Метод преимущества в прибыли*, предполагает, что при использовании ОИС прибыль возрастает за счет роста качества и количества выпускаемой продукции. Стоимость ОИС определится как:

$$S_{ОИС} = \sum_{i=1}^T \frac{\Delta \Pi_i}{(1+E)^i},$$

где $\Delta \Pi_i$ - прирост прибыли при использовании инновации в t -м году расчетного периода, руб.

5. *Метод освобождения от роялти* предполагает, что при использовании принадлежащего предприятию ОИС появляется дополнительная прибыль в виде невыплаченного вознаграждения за ее использование.

$$S_{ОИС} = \sum_{i=1}^T \frac{ВПП_i \cdot (R_s \div 100\%) - 3_i}{(1+E)^i},$$

где $ВПП_i$ - выручка от реализации инновационной продукции в t -м году, руб.;

R_s - ставка роялти в среднем по отрасли, %;

3_i - затраты на поддержание патента или лицензии в силе в t -м году, руб;

T – продолжительность предполагаемого периода использования инноваций, лет.

В любом случае минимальное роялти, определенное лицензиаром R_1 должно быть меньше, чем максимальное роялти, определенное лицензиатом R_2 .

Выбранное роялти должно соответствовать условию $R_1 < R < R_2$.

Иногда вместо выплаты периодических платежей лицензионным договором предусматривается оплата в виде одного или нескольких единовременных вознаграждений (паушальных платежей) лицензиару независимо от величины фактического объема продаж продукции лицензиатом. Однако и в этих случаях цена лицензии, равная величине паушальных платежей, определяется обычно с использованием ставки роялти. Установление паушального платежа – наилучшая гарантия для лицензиара, так как он уплачивается единовременно или в 2-3 приема в короткий срок, например, при подписании соглашения – до 20%; после передачи технической документации – до 60%; после освоения и начала промышленного производства и реализации продукции – до 20% от цены лицензии.

Для расчета паушальных платежей могут быть использованы следующие подходы:
для лицензиара:

$$P_{лр} = \sum_{i=1}^n \frac{K_n}{(1+P)^n}$$

$$P_{лт} = \sum_{i=1}^n \frac{K_n}{(1+C)^n},$$

где $P_{лр}$ - размер паушального платежа, выгодного лицензиару;

$P_{лт}$ – размер паушального платежа выгодного лицензиату;

K_n – годовые взносы лицензиата (ожидаемые платежи по роялти);

P – банковский процент по вкладам;

C – банковский процент по кредитам;

n – срок действия соглашения.

Сумма паушального платежа будет неодинаковой и контрагентам предстоит определить цену в пределах полученных вилок паушальных платежей.

В целом, при паушальном платеже лицензиар получает сумму платежа до получения результата производства и реализации и бремя рисков ложиться на лицензиата, однако при этом он не отчитывается перед лицензиаром об объемах производства и продаж продукции, ее ценах, что не повысит суммы выплат. При расчете платежей на базе роялти, лицензиар, как пра-

вило, через аудитора может контролировать бухгалтерскую отчетность лицензиата по выпуску продукции и ее ценам, однако определить доход лицензиата с достаточной степенью точности невозможно и риск ложиться на лицензиара.

Определение цены лицензии сложная проблема, при решении которой должны быть учтены многие факторы. Важно проанализировать, как будут влиять на окончательную величину стоимости лицензии колебания цен на лицензионную продукцию, себестоимость и объем ее производства при паушальных платежах и платежах на базе роялти.

Важно подчеркнуть, что научно обоснованное приобретение лицензий на инновационные продукты предполагает правильное использование патентной, технической, экономической, коммерческой и другой информации, проведения маркетинговых и других исследований. Внешнеэкономическая деятельность в области закупки лицензий, несмотря на выше изложенные преимущества, без научно-обоснованного определения технико-экономической целесообразности их приобретения, может привести к неоправданному расходу валютных средств, внедрению бесперспективных в техническом и коммерческом плане лицензий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сачко Н.С. Теоретические основы организации производства. -Мн.: Дизайн ПРО. 1997,-320 с.: ил. 2. Об утверждении приоритетных направлений научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2006-2010 годы: Указ Президента Республики Беларусь от 6 июля 2005 г. № 315// Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь.-2005.-№1-7. 1/6607 3. Суша Г., Луцевич А. Экономический механизм патентно-лицензионной деятельности // Интеллектуальная собственность

УДК 658.14

Комина Н.В.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТАНДАРТОВ ОТЧЕТНОСТИ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УЧЕТА И МСФО

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Финансовая отчетность в Республике Беларусь регулируется государственными нормативными актами, которая по своему экономическому содержанию постепенно приближается к международным стандартам финансовой отчетности (МСФО).

Основное различие белорусской системы учета и отчетности с обобщенной международной системой заключается в том, что юридические принципы имеют приоритет по отношению к экономическим правилам. Отсюда различия в целях стандартов. В системе МСФО провозглашены следующие основные принципы составления отчетности:

- максимальное соблюдение интересов инвесторов;
- объективное отражение информации о финансовом состоянии предприятия;
- обеспечение контроля активов с позиций возможного извлечения выгод;
- осмотрительность (консерватизм) при признании доходов и расходов.

В Республике Беларусь они трансформируются в следующие правила ведения бухгалтерского учета и составления отчетности:

- максимально полное соблюдение интересов контролирующих органов;
- соответствие информации о финансовом состоянии действующим нормативным актам;
- обеспечение контроля активов на основе обязательного права;
- признание доходов и расходов на основе осмотрительности, но только при наличии оправдательных документов.

Кроме принципиальных отличий, присутствуют заметные *несходства* в таких элементах, как: план счетов и кодирование хозяйственных операций; способы оценки активов; использование вероятностных характеристик; возможность капитализации некоторых расходов; порядок составления отчетности; способы определения бухгалтерской и налогооблагаемой прибыли; методы анализа результатов хозяйственной деятельности.

Состав отчетности по белорусскому законодательству регулируется нормативными актами Министерства финансов РБ и включает в себя:

1. бухгалтерский баланс (форма №1);
2. отчет о прибылях и убытках (форма №2);
3. отчет об изменении капитала (форма №3);
4. отчет о движении денежных средств (форма №4);
5. приложение к бухгалтерскому балансу (форма №5);
6. отчет о целевом использовании полученных средств (форма №6);
7. пояснительная записка;
8. аудиторское заключение, подтверждающее достоверность бухгалтерской отчетности, если она подлежит обязательному аудиту.

В представлении информации можно выделить два несоответствия. *Первый* касается содержания статей, использованных в годовой отчетности. Например, в отчетности компаний могут встречаться такие статьи, как операционная прибыль, операционный доход или результат от операционной деятельности. Звучат они казалось бы, одинаково, но по своему экономическому содержанию существенно различаются.

Второй момент относится к различным способам представления и расположения информации. В белорусской практике применяются унифицированные формы финансовой отчетности, а международные стандарты позволяют составлять отчетность в произвольной форме, регламентируя лишь минимальный набор информации действительно полезный для пользователя.

Отличительной особенностью балансов западных компаний является то, что в практике учета применяются два их вида: горизонтальный и вертикальный (таблица 1). Если валюта баланса соответствует чистым активам, то форма представления баланса вертикальная, если валюта баланса – суммарные активы, баланс имеет горизонтальную форму. Для развивающихся стран, с точки зрения пользователей, представляется более целесообразным приводить баланс вертикального вида, с тем, чтобы пользователи сразу могли видеть сумму чистых активов предприятия.

В условиях рыночной экономики для организации чрезвычайно важна проблема ликвидности, поэтому наличие оборотных средств имеет первостепенное значение. В результате балансовый отчет международных компаний составляется таким образом, чтобы пользователь мог с первого взгляда сопоставить величину оборотных средств и наиболее срочных обязательств, т.е. активы показывают с сортировкой по убыванию ликвидности, а обязательства – по убыванию уровня срочности, а собственный капитал – в порядке его постоянства (т.е. первыми отражаются наименее подверженные изменениям части собственного капитала).

Таблица 1 – Структура балансов, подготовленных по белорусским и международным стандартам

Статьи баланса, сформированного в соответствии с МСФО		Статьи белорусского бухгалтерского баланса (форма №1)
Вертикальная форма	Горизонтальная форма	
1	2	3
Чистые активы	Активы	Активы
<u>Текущие активы</u>	<u>Текущие активы</u>	<u>Внеоборотные активы</u>
Денежные средства и их эквиваленты	Денежные средства и их эквиваленты	Основные средства
Краткосрочные инвестиции	Краткосрочные инвестиции	Нематериальные активы
Дебиторская задолженность	Дебиторская задолженность	Вложения во внеоборотные активы

1	2	3
Товарно-материальные запасы Предоплаченные текущие расходы Прочие текущие активы <u>Долгосрочные активы</u> Основные средства Нематериальные активы Предоплаченные расходы нескольких периодов Инвестиции и фонды Прочие долгосрочные активы <u>Краткосрочные обязательства</u> Кредиторская задолжен. Краткосрочные займы Текущая часть займов, включающих выплату процентов <u>Итого чистые оборотные активы</u> <u>Долгосрочные обязательства</u> Займы, включающие выплату процентов Отложенные налоги Пенсионные обязательства <u>Итого чистые активы</u> <u>Финансирование чистых активов</u> Выпущенный капитал Фонды Накопленная прибыль/убыток Доля меньшинства <u>Итого финансирование чистых активов</u>	Товарно-материальные запасы Предоплаченные текущие расходы Прочие текущие активы <u>Долгосрочные активы</u> Основные средства Нематериальные активы Предоплаченные расходы нескольких периодов Инвестиции и фонды Прочие долгосрочные активы <u>Итого активы</u> <u>Капитал и обязательства</u> <u>Краткосрочные обязательства</u> Кредиторская задолжен. Краткосрочные займы Текущая часть займов, включающих выплату процентов <u>Долгосрочные обязательства</u> Займы, включающие выплату процентов Отложенные налоги Пенсионные обязательства <u>Капитал и резервы</u> Выпущенный капитал Фонды Накопленная прибыль/убыток Доля меньшинства <u>Итого капитал и обязательства</u>	Доходные вложения в материальные ценности Долгосрочные финансовые вложения Прочие внеоборотные активы <u>Оборотные активы</u> Запасы НДС по приобретенным ценностям Дебиторская задолженность (платежи по которой ожидаются более чем через 12 мес после отчетной даты) Дебиторская задолженность (платежи по которой ожидаются в течение 12 мес после отчетной даты) Краткосрочные финансовые вложения Денежные средства Прочие оборотные активы <u>Пассивы</u> <u>Капитал и резервы</u> Уставный капитал Собственные акции, выкупленные у акционеров Резервный фонд Добавочный фонд Нераспределенная прибыль <u>Долгосрочные обязат.</u> Займы и кредиты Прочие долгосрочные обязат. <u>Краткосрочные обязат.</u> Займы и кредиты Кредиторская задолженность Задолженность перед участниками (учредителями) по выплате доходов Доходы будущих периодов Резервы предстоящих расходов Прочие краткосрочные обязательства

Баланс белорусских предприятий состоит из двух частей: актива и пассива. В активе отражаются состав средств, а в пассиве – источники их формирования. В международной практике принят баланс, в одной части которого отражены средства, а в другой – обязательства, а собственный капитал выделяется отдельно из состава обязательств. Таким образом, балансовое уравнение в интерпретации МСФО выглядит следующим образом:

Средства предприятия = Обязательства + Собственный капитал.

В Республике Беларусь это равенство представлено иначе:

Актив = Пассив.

В международной практике под активами понимаются ресурсы, контролируемые предприятием, являющиеся результатом прошлых событий и источником будущих экономических выгод предприятия. Такая трактовка отличается от принятой в национальной системе учета, когда активами являются имущество, в том числе имущественные права, исключительные права на результаты интеллектуальной деятельности, учитываемые организацией в результате хозяйственных операций. При этом факт совершения хозяйственной операции подтверждается первичным учетным документом, имеющим юридическую силу.

Обязательства по определению МСФО – это существующие в настоящий момент обязательства компании, являющиеся результатом прошлых событий и источником будущих изъятий ресурсов компании и уменьшения экономических выгод. Понимание обязательств также не соответствует определению, принятому в Республике Беларусь, где обязательства считаются источниками средств предприятия, сгруппированными в правой стороне баланса.

Собственный же капитал в соответствии с западной теорией бухгалтерского учета – это оставшаяся доля собственных активов предприятия после вычета обязательств. В отечественной практике бухгалтерского учета капитал представляет собой вложения собственников и прибыль, накопленную за все время деятельности организации.

Группировка статей отчета о прибылях и убытках, составляемого по МСФО, может осуществляться либо методом характера затрат (классификация по элементам затрат) либо функции затрат. Соответственно возникает два формата представления отчетности: первый формат основан на раскрытии затрат на производство по так называемым элементам затрат, второй – на себестоимости продукции. Организации, представляющие отчетность по формату себестоимости, обязаны раскрыть в примечаниях дополнительную информацию о характере расходов по элементам (например, амортизация, материальные затраты, расходы на оплату труда и т.п.)

Что касается содержания белорусского отчета о прибылях и убытках, то за последние годы оно претерпело существенные изменения и преобразовано в соответствии с форматом одноименного отчета, рекомендованного МСФО, однако в отечественной форме №2 доходы и расходы по обычным видам деятельности отражаются, пользуясь терминологией МСФО, только методом функции затрат. Поэтому, если при формировании отчета по МСФО компания использовала метод характера затрат, сопоставление его с белорусским аналогом возможно лишь в агрегированном виде.

Для ведения хозяйственной деятельности, исполнения обязательств и обеспечения доходности компании нужны денежные средства. Способность генерировать денежные потоки – важнейший показатель финансового состояния. Отчет о движении денежных средств обеспечивает предоставление информации, позволяющей оценить эти показатели, а также понять изменения в чистых активах компании, ее финансовую структуру (в том числе ликвидность и платежеспособность), способность регулировать время и плотность денежных потоков в условиях постоянно меняющихся внешних и внутренних факторов.

Существуют значительные расхождения в методах подготовки информации – белорусские правила предусматривают только прямой метод (нарастающим итогом с начала года), а МСФО прямой и косвенный.

Прямой метод составления отчета основан на отражении непосредственных положительных и отрицательных валовых потоков денежных средств (от операционной, инвестиционной и финансовой деятельности), а **косвенный метод** – на отражении потоков денежных средств по операционной деятельности путем корректировок прибыли или убытка с учетом результатов операций неденежного характера, любых отложенных или начисленных прошлых или будущих денежных поступлений или платежей по основной деятельности и статей доходов и расходов, связанных с поступлением или выбытием денежных средств по инвестиционной или финансовой деятельности.

Косвенный метод более распространен в мировой практике. Он включает в себя элементы анализа, так как базируется на сопоставлении изменений различных статей бухгалтерского баланса за отчетный период, характеризующих имущественное и финансовое положение организации, а также включает анализ движения основных средств, их амортизацию и другие показатели, которые невозможно получить исключительно из данных бухгалтерского баланса.

Отмеченные выше сложности, возникающие при сравнении различных по формату отчетностей, приводят к тому, что прямолинейное применение существующих в настоящее время

методик (как белорусских , так и зарубежных) финансового анализа становится невозможным, несмотря на то, что они основаны на одном их тех же приемах. Это обстоятельство приводит к необходимости корректировки методических подходов при проведении данного анализа и существенную роль в этом процессе приобретает профессиональное суждение специалиста-аналитика.

Следует отметить, что МСФО представляют собой весьма объемный свод стандартов и пояснений к ним. Некоторые вопросы (по оценке европейских экспертов) применения МСФО сложны для понимания и реализации даже в крупных компаниях. Поэтому в стандарты периодически вносятся изменения. Кроме того, отдельные нормы некоторых стандартов касаются исключительно крупных компаний. Поэтому IASB разрабатывает специальные упрощенные стандарты для малого бизнеса и для некоммерческих организаций, в т.ч. финансируемых из государственного бюджета.

В Республике Беларуси постоянно разрабатываются и вводятся в действие новые стандарты бухгалтерского учета. Как правило, они во многом копируют международные правила. Однако тот факт, что какая-то норма утверждена законом, к сожалению, совершенно не означает, что она используется на практике. Поэтому такие расхождения также нельзя оставить без внимания.

Основные различия между МСФО и национальной системой учета связаны с исторически обусловленной разницей в конечных целях использования финансовой информации. Финансовая отчетность, подготовленная в соответствии с МСФО, используется инвесторами, а также другими предприятиями и финансовыми институтами. Финансовая отчетность, которая ранее составлялась в соответствии с национальной системой учета, использовалась органами государственного управления и статистики. Так как эти группы пользователей имели различные интересы и различные потребности в информации, принципы, лежащие в основе составления финансовой отчетности, развивались в различных направлениях (таблица 2).

Таблица 2 – Причины, объясняющие различия между белорусской отчетностью и отчетностью, составленной в соответствии с МСФО

	МСФО	БСБУ
<i>Пользователи</i>	Инвесторы, акционеры, работники предприятия	В первую очередь налоговые службы и другие контролирующие органы
<i>Исторические факторы</i>	Свободная рыночная экономика	Централизованное государственное регулирование, плановая экономика
<i>Мотивация</i>	Создание достоверной и объективной картины деятельности компании	Осуществление контроля и обеспечение максимальных налоговых сборов
<i>Роль профессионалов-бухгалтеров</i>	Значительная роль ассоциаций профессиональных бухгалтеров	Государственное регулирование, при котором профессиональные ассоциации не играют существенной роли, хотя и начинают приобщаться к этой работе
<i>Роль на предприятии</i>	Большое влияние на процесс принятия решения	Вспомогательная роль – главным образом функция контроля

В основе отличий систем учета лежит разное понимание ряда основополагающих элементов постановки и ведения бухгалтерского учета. Это касается адресности отчетности, объяснения достоверности, трактовки активов, применения метода начислений, требований осмоторительности, приоритета содержания над формой и рациональности, а также возможности профессиональных суждений (оценок) при подготовке отчетности

ЛИТЕРАТУРА

1. Бугаев, А.В. Секреты финансовой отчетности в формате МСФО. - М., 2008 г. 2. Панков Д.А. Методика трансформации бухгалтерской отчетности в формат МСФО. - Минск, 2008. - 120 с. 3. Финансовый учет: глобальный подход. С. Грей, Б. Нидлз.

ИЗМЕНЕНИЯ МАКРОСТРУКТУРЫ АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ ПРИ СВАРКЕ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

ВВЕДЕНИЕ

Прочностные и деформационные характеристики отдельных слоев многослойных арматурных стержней определяют механические свойства стержня в целом, существенно сказываются на работе арматуры как в процессе изготовления арматурных изделий для железобетонных конструкций, так и при работе конструкций под нагрузкой.

Целью настоящей работы являлось выявление изменений макроструктуры арматурных стержней при технологических сварочных воздействиях и распределения микротвердости наружных и внутренних участков сварных соединений арматурных стержней различных диаметров.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Характеристики арматурных стержней производства РУП БМЗ и Челябинского МК приведены в [1]. Пробы для изготовления заготовок отбирались из арматурных стержней после сварочных воздействий и из сварных соединений, выполненных на ОАО «Завод сборного железобетона № 1» г.Минска. Экспериментальные образцы (рис.1) и их исследования выполнялись по методике, изложенной в статье [1]. Полученные данные по изменениям макроструктуры поперечных сечений со сварочными воздействиями и микротвердости приведены в табл. 1-4 и на рис.2.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Выполненные исследования показали, что в сечениях стержней в процессе сварки происходит изменение первоначального слоистого структурного (градиентного) состава стержней (табл.1-4(х100), рис.2). При увеличении количества сварочного тепла изменяются размеры зоны термического влияния, объем металла стержня, в котором происходят изменения первоначальной слоистой структуры и превращения структурных составляющих стали. При этом сварка существенно изменяет как микроструктуру в зоне термического влияния и на примыкающих участках, так и геометрию, макроструктуру и микротвердость слоев арматуры со сварочными воздействиями.

ВЫВОДЫ:

1. Из приведенных экспериментальных данных следует, что первоначальная слоистость арматурного проката существенно изменяется в процессе сварочных технологических воздействий. При этом менее значительные изменения происходят при кратковременном воздействии сварочного тепла или его отводе от стержня с помощью накладок и т.д.. При увеличении количества сварочного тепла, вводимого в зону сварки, изменяются размеры зоны термического влияния, объем металла стержня, в котором происходят изменения первоначальной слоистой структуры и превращения структурных составляющих стали. Первоначально более прочные наружные слои свариваемых стержней становятся после сварочных воздействий менее прочными. Соответственно, при растяжении-сжатии таких стержней на ослабленных участках возникает растяжение с изгибом и более сложные напряженные состояния.

2. В процессе сварки в заводских условиях в соединениях возникают и некоторые дефекты. Так, электродуговая сварка в среде углекислого газа по недостаточно очищенным поверхностям приводит к возникновению пор в швах. Степень очистки контактных поверхностей при контактной сварке вызывает непровары (на продольных шлифах видна линия раздела и т.д.), пережог и подгары (в выдавленном металле много трещин, имеется сильно окисленный металл и др.), пористость в околошовной зоне (на отдельных образцах видна цепочка пор), смещение свариваемых поверхностей, чрезмерно большое количество выдавленного металла (особенно на стержнях малых диаметров), что свидетельствует о необходимости более тщательной отладки сварочного процесса (необходимость корректировки времени протекания тока, отладки величины осадочного давления, установочной длины свариваемых элементов, отладки других параметров сварки в увязке с диаметрами свариваемых стержней и характеристиками сталей).

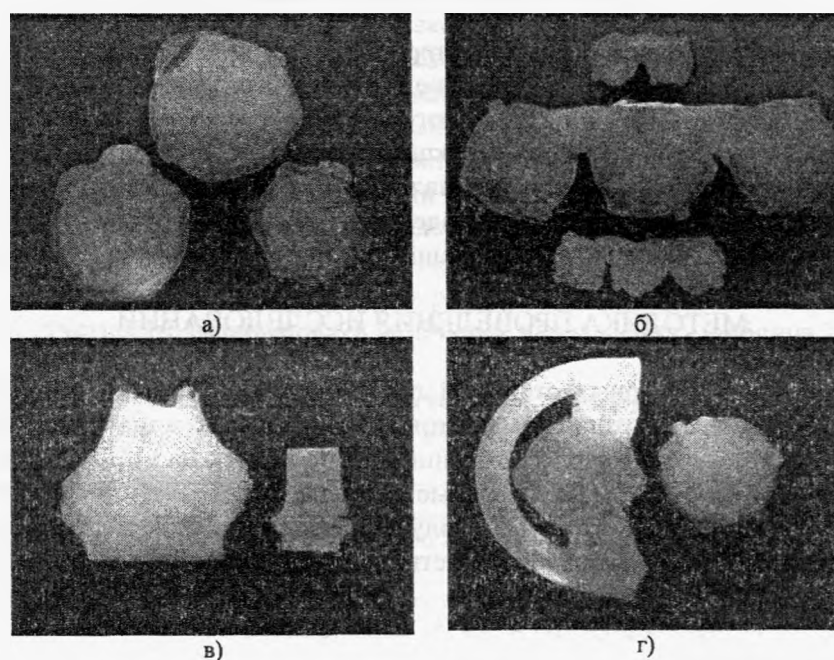


Рис. 1. Образцы для исследований изменений макроструктуры арматуры после тепловых воздействий:
а) при наплавке; б) при сварке фланговыми швами; в) при контактной сварке; г) при ванной сварке

Таблица 1 – Образец № 13. Наплавка на поперечное ребро

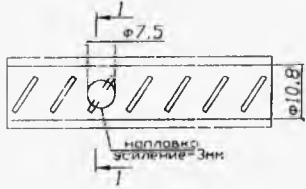
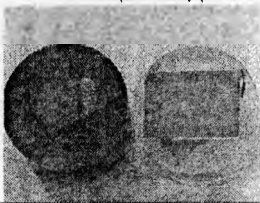
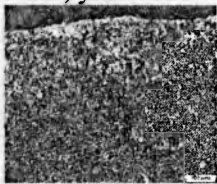
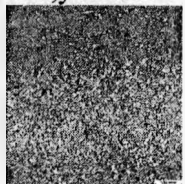
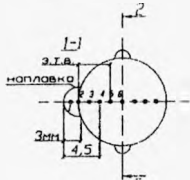
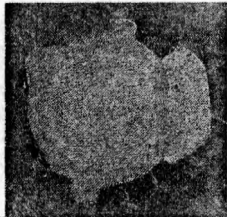
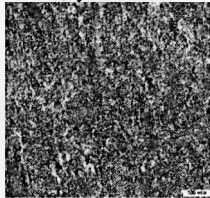
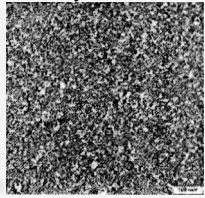
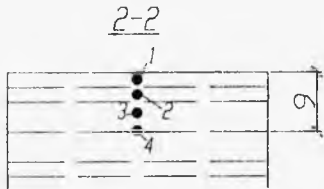
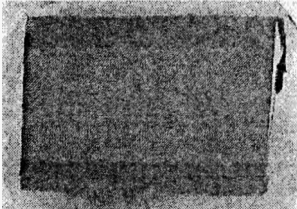
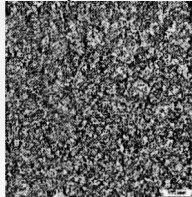
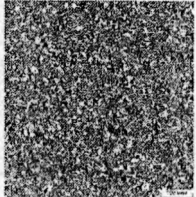
Схема заготовки, сечения	Макроструктура сечения Общий вид	Микроструктура участка 1-1, участок 1	Микроструктура участка 1-1,участок 4
			
	<p>1-1</p> 	<p>1-1, участок 2</p> 	<p>1-1, участок 5</p> 
<p>2-2</p> 	<p>2-2</p> 	<p>1-1, участок 3</p> 	<p>1-1, участок 6</p> 

Таблица 2 – Образец № 57. Наплавка на продольное ребро

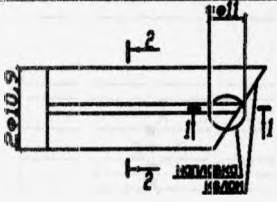
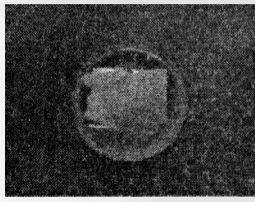
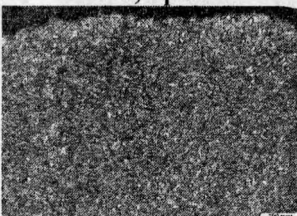
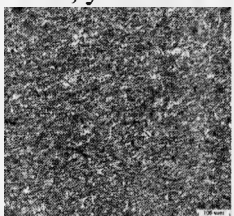
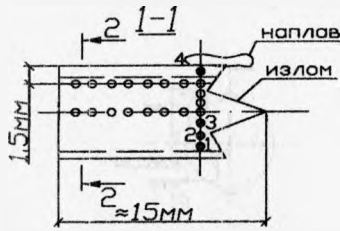
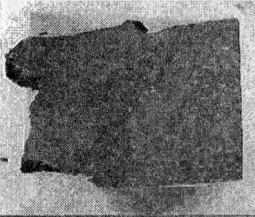
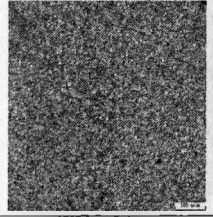
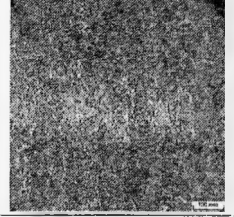
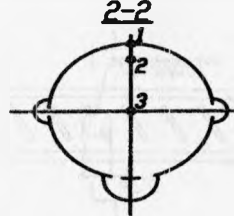

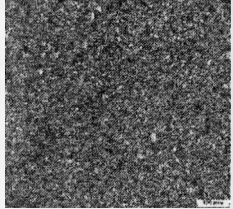
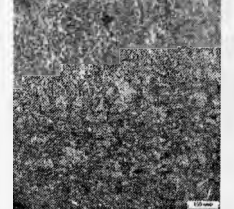
Схема заготовки, сечения	Макроструктура сечения Общий вид	Микроструктура участка 1-1, край	Микроструктура участка 2-2, участок 3
			
			
			

Таблица 3 – Образец № 41

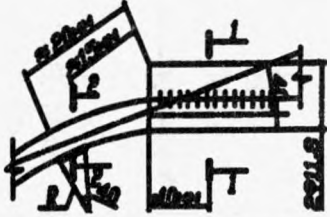
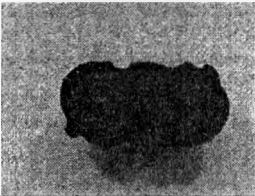
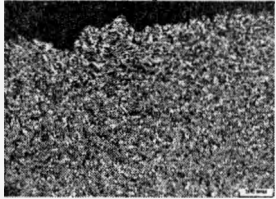
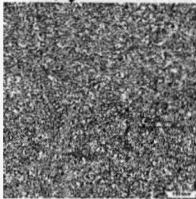
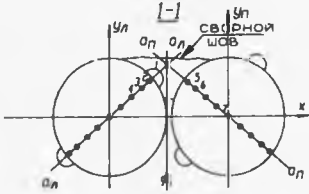

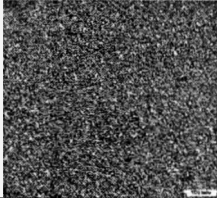
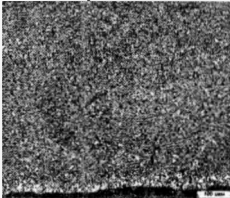
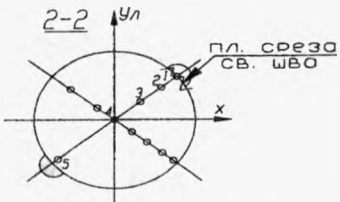
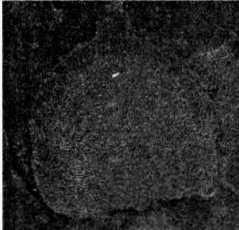
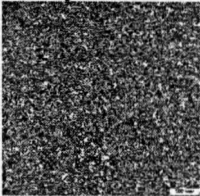
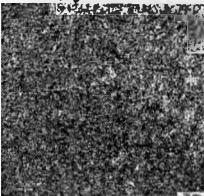
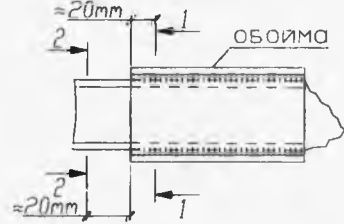
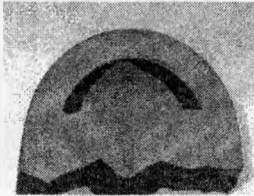
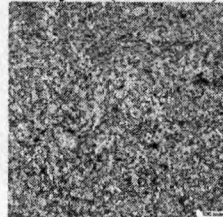
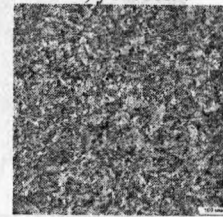
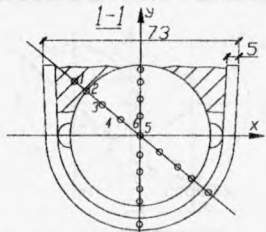
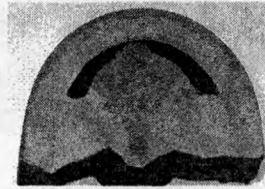
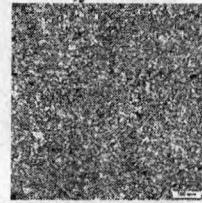
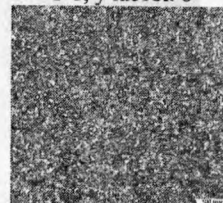
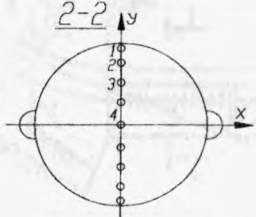
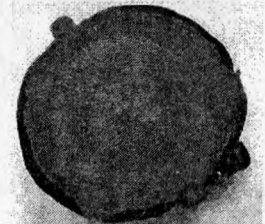
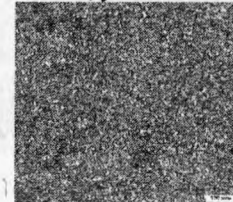
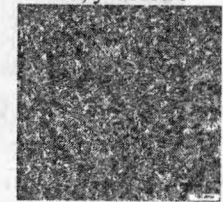
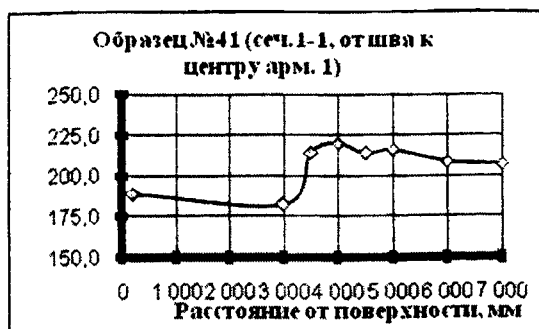
Схема заготовки, сечения	Макроструктура сечения	Микроструктура участка	Микроструктура участка
	Общий вид 	2-2, край 	2-2, участок 4 
	1-1 	2-2,участок 2 	2-2, участок 5 
	2-2 	2-2,участок 3 	1-1, участок 2 

Таблица 4 – Образец № 111

Схема заготовки, сечения	Макроструктура сечения	Микроструктура участка	Микроструктура участка
	<p>Общий вид</p> 	<p>1-1,уч.1 (напл.мет.)</p> 	<p>1-1, участок 7</p> 
	<p>1-1</p> 	<p>1-1,участок 2</p> 	<p>1-1, участок 6</p> 
	<p>2-2</p> 	<p>1-1, участок 3</p> 	<p>1-1, участок 5</p> 

200	189.2
3 000	182.3
3 500	214.5
4 000	220.1
4 500	213.9
5 000	216.0
6 000	208.8
7 000	207.4



200	185.7
3 000	202.0
3 500	211.6
4 000	205.0
4 500	199.3
5 000	199.2
6 000	205.0
7 000	198.7



200	182.2
700	208.8
1 200	217.5
2 000	210.2
2 500	219.0
3 000	214.5
3 500	200.6
4 000	200.6
5 000	204.7
6 000	214.5



Рис. 2. Изменение микротвердости сечений 1-1 и 2-2 образца № 41 (смотреть совместно с табл. 3)

ЛИТЕРАТУРА

1. Василевич, Ю.В, Мойсейчик, Е.А., Мойсейчик, Е.К. Макроструктура арматурных перемычек, укрепленных в потоке стана и их сварных соединений // Инновационные технологии в строительстве автомобильных дорог, мостов и подготовке инженерных кадров в Республике Беларусь. Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Наука образованию, производству, экономике». - Мн.: БНТУ, 2008. - С. 326-332.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОВОЙ И РАДИАЦИОННОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ НА НДС ПОЛОГО ДЛИННОГО ЦИЛИНДРА

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Фактор ползучести является весьма существенным при оценке работоспособности элементов активных зон ядерных реакторов. Она совместно с распуханием может привести к изменению размеров и формы оболочек твэлов и чехлов тепловыделяющих сборок, являющихся тонкостенными конструкциями [1].

Определение напряженно-деформированного состояния элементов активных зон ядерных реакторов – достаточно существенный момент при оценке работоспособности тепловыделяющих элементов (твэлов), которые в большинстве случаев имеют форму цилиндров. С этой точки зрения, учитывая ползучесть конструкционных материалов при неравномерном нагреве и облучении, расчеты оболочек твэлов на прочность являются важнейшим этапом перед проведением дорогостоящих экспериментальных исследований.

Рассмотрим осесимметричное распределение напряжений и деформаций полого бесконечно длинного цилиндра в условиях неравномерного нагрева, реакторного облучения и под действием равномерного внутреннего и внешнего давлений с учетом тепловой и радиационной ползучести (рис. 1) [2].

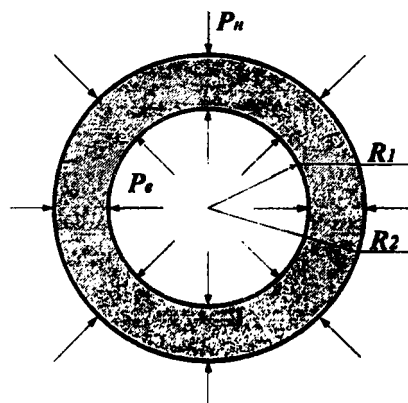


Рис. 1. Сечение бесконечно длинного полого цилиндра нагруженного внешним и внутренним давлениями.

Тогда в цилиндрической системе координат поле напряжений имеет отличные от нуля компоненты σ_{11} , σ_{22} , ε_{11} , ε_{22} . Для полого открытого цилиндра выполняется условие плоской деформации ($\varepsilon_{33} = 0$).

С учетом этого дифференциальные уравнения равновесия примут вид:

$$\frac{\partial \sigma_{11}}{\partial r} + \frac{\sigma_{11} - \sigma_{22}}{r} = 0. \quad (1)$$

Деформации и перемещения точек цилиндра связаны следующими соотношениями Коши:

$$\varepsilon_{11} = \frac{\partial u}{\partial r}; \quad \varepsilon_{22} = \frac{u}{r}. \quad (2)$$

Физические уравнения записываются в виде

$$\begin{aligned} \varepsilon_{11} &= \frac{1}{E}(\sigma_{11} - \nu \sigma_{22}) + \alpha T(r) + \frac{1}{3} S(T(r), \phi, t) + \varepsilon_{11}^c; \\ \varepsilon_{22} &= \frac{1}{E}(\sigma_{22} - \nu \sigma_{11}) + \alpha T(r) + \frac{1}{3} S(T(r), \phi, t) + \varepsilon_{22}^c. \end{aligned} \quad (3)$$

Где $T(r)$ предполагается заданной функцией от координат; $S(T(r), \phi, t)$ функция, зависящая от температуры, времени, заданного нейтронного потока.

ГУ примем следующими:

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= P_b \text{ при } r = R_1, \\ \sigma_{11} &= P_n \text{ при } r = R_2. \end{aligned} \quad (4)$$

Решение задачи будем искать в перемещениях, для чего уравнение (3) с использованием соотношений Коши запишем в следующем виде

$$\begin{aligned}\sigma_{11} &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial u}{\partial r} + \nu \frac{u}{r} - (1+\nu)(\alpha T(r) + \frac{1}{3} S(T(r), \phi, t)) - \varepsilon_{11}^c - \nu \varepsilon_{22}^c \right]; \\ \sigma_{22} &= \frac{E}{1-\nu^2} \left[\nu \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{u}{r} - (1+\nu)(\alpha T(r) + \frac{1}{3} S(T(r), \phi, t)) - \varepsilon_{22}^c - \nu \varepsilon_{11}^c \right].\end{aligned}\quad (5)$$

Тогда уравнение равновесие представится в виде:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} - \frac{u}{r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - (1+\nu) \left(\alpha \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{1}{3} \frac{\partial S}{\partial r} \right) - \frac{\partial \varepsilon_{11}^c}{\partial r} - \nu \frac{\partial \varepsilon_{22}^c}{\partial r} - \frac{1-\nu}{r} (\varepsilon_{11}^c - \varepsilon_{22}^c) = 0. \quad (6)$$

Со следующими граничными условиями:

$$\begin{aligned}\frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial u}{\partial r} + \nu \frac{u}{R_1} - (1+\nu)(\alpha T(R_1) + \frac{1}{3} S(T(R_1), \phi, t)) - \varepsilon_{11}^c - \nu \varepsilon_{22}^c \right] &= -P_B; \\ \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{\partial u}{\partial r} + \nu \frac{u}{R_2} - (1+\nu)(\alpha T(R_2) + \frac{1}{3} S(T(R_2), \phi, t)) - \varepsilon_{11}^c - \nu \varepsilon_{22}^c \right] &= -P_H.\end{aligned}\quad (7)$$

Для определения напряжений используем шаговый метод, одновременно решая на каждом временном шаге уравнение (6) методом конечных разностей с учетом ГУ (7).

Уравнение равновесия в разностном виде примет вид [3]:

$$\begin{aligned}& \left(\frac{u_{i+1} - 2u_i + u_{i-1}}{h^2} - \frac{u_i}{r_i^2} + \frac{1}{r_i} \frac{u_i - u_{i-1}}{h} \right) - (1+\nu) \left(\alpha \frac{T_i - T_{i-1}}{h} + \frac{1}{3} \frac{S_i - S_{i-1}}{h} \right) - \\ & \frac{\varepsilon_{11,i}^c - \varepsilon_{11,i-1}^c}{h} - \nu \frac{\varepsilon_{22,i}^c - \varepsilon_{22,i-1}^c}{h} - \frac{1-\nu}{r_i} (\varepsilon_{11,i}^c - \varepsilon_{22,i}^c) = 0 \\ & \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{u_i - u_0}{h} + \nu \frac{u_0}{r_0} - (1+\nu)(\alpha T(r_0) + \frac{1}{3} S(T(r_0), \phi, t)) - \varepsilon_{11,0}^c - \nu \varepsilon_{22,0}^c \right] = -P_B; \\ & \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{u_n - u_{n-1}}{h} + \nu \frac{u_n}{r_n} - (1+\nu)(\alpha T(r_n) + \frac{1}{3} S(T(r_n), \phi, t)) - \varepsilon_{11,n}^c - \nu \varepsilon_{22,n}^c \right] = -P_H.\end{aligned}\quad (8)$$

$$\begin{aligned}& \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{u_i - u_0}{h} + \nu \frac{u_0}{r_0} - (1+\nu)(\alpha T(r_0) + \frac{1}{3} S(T(r_0), \phi, t)) - \varepsilon_{11,0}^c - \nu \varepsilon_{22,0}^c \right] = -P_B; \\ & \frac{E}{1-\nu^2} \left[\frac{u_n - u_{n-1}}{h} + \nu \frac{u_n}{r_n} - (1+\nu)(\alpha T(r_n) + \frac{1}{3} S(T(r_n), \phi, t)) - \varepsilon_{11,n}^c - \nu \varepsilon_{22,n}^c \right] = -P_H.\end{aligned}\quad (9)$$

В качестве примера рассмотрим напряженно-деформированное состояние оболочки твэла реактора на быстрых нейтронах имеющей форму полого осесимметричного цилиндра изготовленного из стали ОХ16Н15МЗБ (316L – зарубежный аналог). Оболочка внутренним радиусом $R_1 = 0,003$ м и внешним радиусом $R_2 = 0,0033$ м находится под действием равномерных давлений: внутреннего $P_B = 7,5$ МПа и внешнего $P_H = 0,1$ МПа, в условиях объемных термических $T(r)$ и радиационных $S(T(r), \phi, t)$ деформаций со следующими данными: $E = 1,5 \cdot 10^5$ МПа, $T(R_1) = 500(773)^\circ\text{C(K)}$, $\alpha = 18,3 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$.

Для решения системы разностных уравнений был применен метод Гауса-Жордана, где в качестве неизвестных выступили перемещения u вдоль радиуса r . Решение разностных уравнений было реализовано при помощи языка программирования C++.

При решении системы алгебраических уравнений выбирался шаг из расчета повышения точности решения при увеличении числа разбиений радиуса.

Одна из особенностей оболочек твэлов (в данной задаче они рассматриваются как толстостенные цилиндры) состоит в том, что они подвержены воздействию высокого флюенса

нейтронов с энергией $\bar{E} = 10.1 \text{ МэВ}$ ($10^{22} + 10^{23} \text{ нейт/см}^2$), которые в быстрых ядерных реакторах вызывает радиационное распухание материала оболочки и чехлов ТВС, что приводит к дополнительным напряжениям в них ввиду зависимости распухания от неравномерной температуры. Обычным ресурс твэла, а, следовательно, и оболочки твэла, достигает порядка 8000 ч., поэтому важными факторами как тепловая и радиационная ползучесть.

На рис. 2-4 представлены результаты расчетов НДС оболочки твэла по специально разработанной программе.

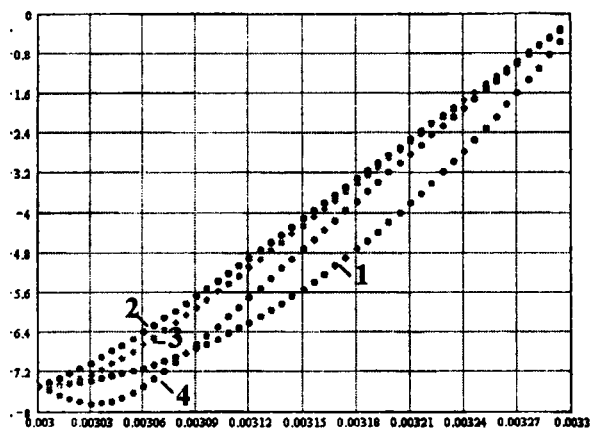


Рис. 2. Кривые зависимости радиальных напряжений от радиуса (1 – при 0 часов, 2 – при 1000 часов, 3 – при 4000 часов, 4 – при 7000 часов)

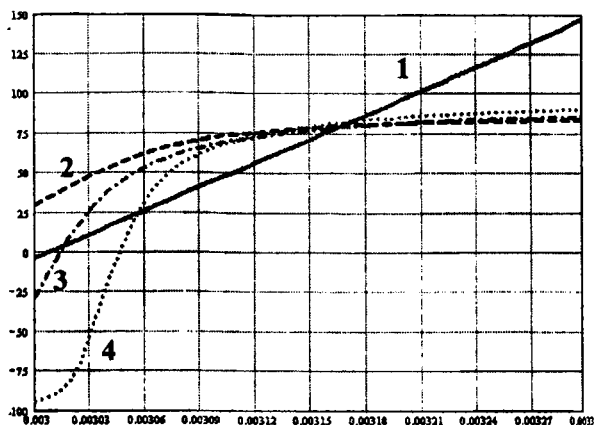


Рис. 3. Кривая зависимости окружных напряжений от радиуса (1 – при 0 часов, 2 – при 1000 часов, 3 – при 4000 часов, 4 – при 7000 часов)

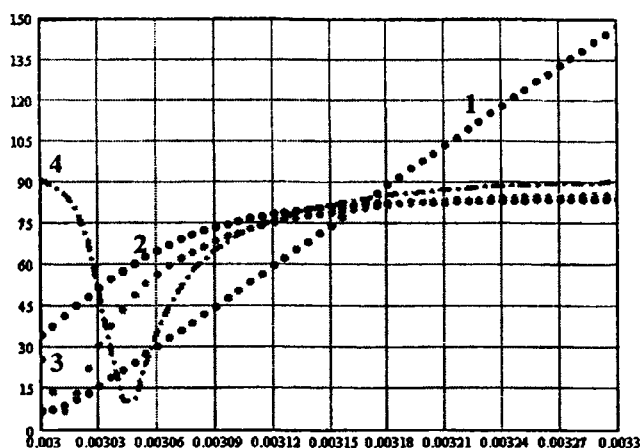


Рис. 4. Кривые зависимостей распределения эквивалентных напряжений от радиуса (1 – при 0 часов, 2 – при 1000 часов, 3 – при 4000 часов, 4 – при 7000 часов)

Из рис. 2 следует, что при времени эксплуатации оболочки твэла тысяча и четыре тысячи часов (кривая 2 и 3 соответственно), происходит некоторое снижение радиальных напряжений, что обусловлено влиянием ползучести. Однако с течением времени существенным становится неравномерное радиационное распухание, вызванное нейтронным облучением и являющееся источником дополнительных напряжений в оболочке твэла из-за неравномерности температурного поля. Этим фактором можно объяснить изменения в форме кривых радиальных и окружных напряжений (рис. 2, 3), а также кривой интенсивности напряжений (рис. 4). Так же можно отметить, что напряжения за срединной плоскостью практически не изменяются с увеличением времени эксплуатации. Но можно предположить, что изменения начнутся при дальнейшем нагружении оболочки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куликов И.С., Нестеренко, Тверковкин Б.Е. Прочность элементов конструкций при облучении. Минск. 1990, -144с. 3. И. С. Куликов, Б. Е. Тверковкин "Прочность тепловыделяющих элементов быстрых газоохлаждаемых реакторов" Мн., «Наука и техника» 1984. 4. Клус С.А., Куликов И.С. НДС неравномерно нагретого полого короткого цилиндра с учетом тепловой и радиационной ползучести. – Республиканский межведомственный сборник «Машиностроение», Минск, 2008, т.1,с.179-182.

УДК 539.3

Мойсейчик Е.А., Стефанович Р.В., Филатов С.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЬНОЙ РАМЫ ПО СОБСТВЕННОМУ ТЕПЛОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ МАТЕРИАЛА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Национальный научно-учебный центр физики частиц и высоких энергий БГУ

Институт тепло- и массообмена им. А.В. Лыкова НАНБ

Минск, Беларусь

Определение напряжений с использованием теплового излучения применяется при необходимости бесконтактного измерения напряжений в элементах конструкций [1]. В основу такого подхода положена взаимозависимость между напряженно-деформированным и тепловым состояниями твердого тела [2]. Такая зависимость проявляется при упругой, упруго-пластической и пластической стадиях работы различных материалов. На основании исследований Кельвина, Био зависимость между изменениями температуры материала ΔT и напряженно-деформированного состояния (σ_{ij} , ε_{ij}) можно представить уравнением [1]:

$$\Delta T = \frac{T}{\rho C_\varepsilon} \sum_{ij} \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial T} \varepsilon_{ij} + \frac{Q}{\rho C_\varepsilon}, \quad (1)$$

$ij = 1, 2, 3,$

где ρ , C_ε - соответственно, плотность и теплоемкость материала при температуре T . Частные производные в (1) легко вычисляются с помощью уравнений, связывающих напряжения, деформации и температуру в изотропном упругом теле. Для адиабатических условий, когда $Q=0$, это уравнение сводится к виду

$$\Delta T = \frac{E \alpha_L T}{\rho C_\varepsilon (1 - 2\nu)} \sum_{i=1,2,3} \varepsilon_{ii}, \quad (2)$$

где $\sum_{i=1,2,3} \varepsilon_{ii}$ – сумма изменений трех линейных деформаций, E , ν , α_L – соответственно, модуль упругости, коэффициент Пуассона, температурный коэффициент расширения материала при температуре T . Учитывая связь между C_ε и C_p (удельные тепловыделения при постоянных деформации и давлении) и выражая линейные деформации через нормальные напряжения, уравнение (2) можно записать в виде

$$\Delta T = -\frac{\alpha_L}{\rho C_p} T \sum_{i=1,2,3} \sigma_{ii} . \quad (3)$$

Обозначая дробь через K_m это уравнение можно представить выражением (4):

$$\Delta T = -K_m T \Delta \sigma . \quad (4)$$

Для нелегированных и слаболегированных сталей при комнатной температуре $K_m = 3,09 \cdot 10^{-12} \text{ Па}^{-1}$; для высоколегированных сталей - $K_m = 4,36 \cdot 10^{-12} \text{ Па}^{-1}$. Выражение (4) справедливо при адиабатическом нагружении в упругой стадии деформирования однородных изотропных материалов при температуре T .

При деформировании металлов, других материалов поверхности разрушения излучают энергию [1,3], в основном инфракрасного диапазона. Изменение потока фотонов инфракрасного излучения ($\Delta \Phi$) можно получить, дифференцируя уравнение Стефана-Больцмана [1]:

$$\Delta \Phi = 13eB'T^2 \Delta T . \quad (5)$$

Заменяя ΔT выражением (4) представляем (5) в виде

$$\Delta \Phi = -3eB'T^3 K_m \Delta \sigma , \quad (6)$$

где B' – постоянная Стефана-Больцмана для фотонной эмиссии ($1,52041 \cdot 10^{15} \text{ фотон} \cdot \text{с}^{-1} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-3}$).

Зависимость (4) экспериментально подтверждена для различных стадий работы материалов [1]. Выражение (6) положено в основу определения напряжений методами SPATE, Sira [1].

В настоящей работе исходя из выражения (6) и с использованием ИК-термографии выявлялись наиболее нагруженные точки рамы CMS.HE.GE.100-01-00 из нержавеющей стали при ее статическом растяжении и выполнена оценка стадий работы материала в таких точках.

Исследуемая рама имеет прямоугольную в плане форму с трапециевидным, прямоугольным сечением рабочих элементов (рис.1).

Материал рамы - сталь 03Х2016АГ6 по ТУ 302.02.028.89 и ТУ 05764417-049-96 с механическими характеристиками: $\sigma_s = 680 - 730 \text{ МПа}$; $\sigma_{0.2} = 385 - 450 \text{ МПа}$; $\delta = 41 - 56 \%$; $\psi = 67 - 78\%$. Рама изготовлена из слэба толщиной 200 мм с применением газовой резки и последующей механической обработкой поверхностей. Нормальный коэффициент излучения поверхности составляет 0,13-0,16.

И в значительной степени зависит от чистоты обработки поверхности. Отношение площади боковой поверхности к объему для элементов рамы изменялось в пределах 0,037 – 0,06.

В процессе эксперимента рама нагружалась статической нагрузкой на 100-тонной универсальной машине. Нагружение велось по схеме рис. 2.

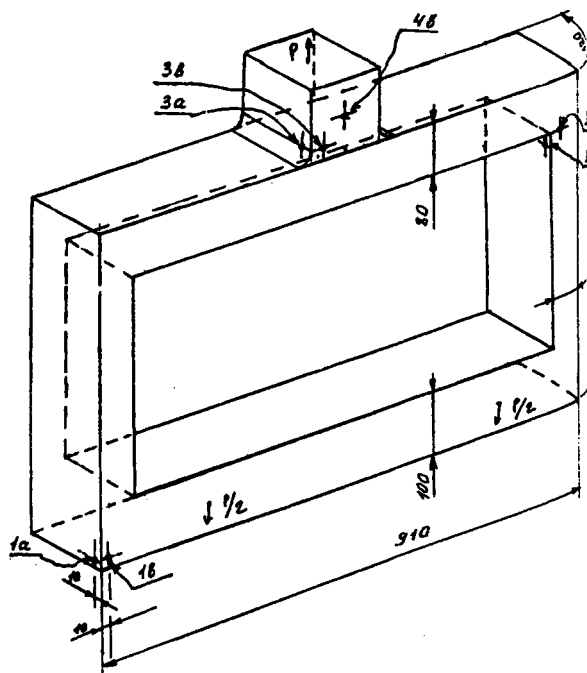
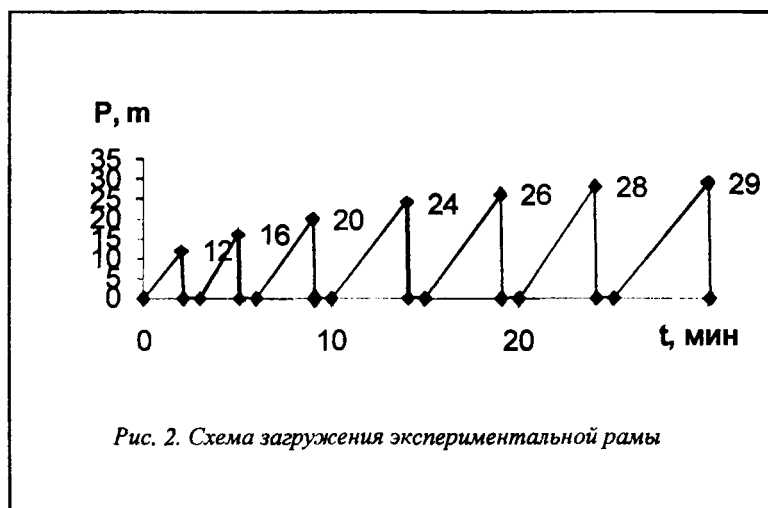


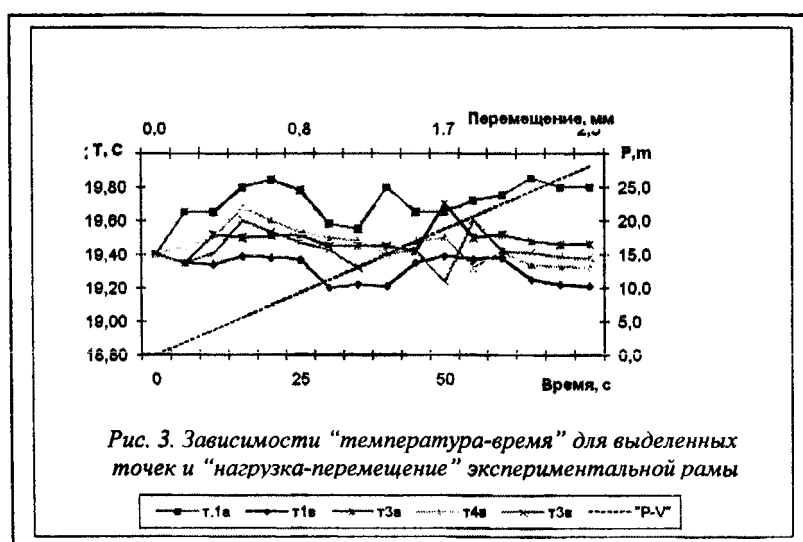
Рис. 1. Схема экспериментальной рамы



Средняя скорость нагружения изменялась в пределах 0,13-0,20 т/сек и регулировалась по показаниям силоизмерителя. Между циклами нагружений и в моменты снятия показаний по датчику перемещений возможны были паузы в изменении скорости нагружения продолжительностью до 1 минуты.

Измерение температуры поверхности рамы велось с помощью портативного компьютерного ИК-термографа ИРТИС-200 в спектральном диапазоне 3-5 мкм. Реперные точки контролировались в течение эксперимента контактным способом. Начальные температуры рамы и стены помещения составляли соответственно 19,4 °С и (19,3-19,4) °С. Термограф устанавливался под углом 20-25 ° к вертикальной плоскости рамы и 15-20 ° - к горизонтальной. Сканирование велось в автоматическом режиме через 0,5 секунды. Результаты сканирования записывались в память компьютера и позволяли анализировать термоизображения на любой стадии исследования. При подготовке измерений было выявлено существенное искажение теплового поля поверхности при приближении участников эксперимента к раме на расстояние 1,5-2,0 м и менее вследствие отражения теплового потока внешнего излучения человека и т.д. от исследуемой поверхности. При этом в зоне создаваемых человеком бликов фиксируемая «температура» повышается на (0,4-0,8) °С. Указанные погрешности можно исключить, выбирая характерные точки у пересечения взаимноперпендикулярных поверхностей.

По данным термографирования построены зависимости изменения температуры поверхности за время нагружения. Пример такой зависимости показан на рис.3.



Из анализа графиков «температура-время» следует, что непрерывному нагружению между моментами снятия показаний по датчику перемещений на графике соответствует непре-

рывный подъем температуры со скоростью $(0,01-0,015)^\circ\text{C}/\text{сек}$; остановка нагружения приводит к остыванию поверхности примерно с той же средней скоростью. При выбранном расположении ИК-термографа разность температур на соответствующих взаимноперпендикулярных поверхностях, примыкающим к точкам 1,2,3,4 составляет $(0,2-0,4)^\circ\text{C}$. Разность температур наиболее нагретой точки (т.3) и точки 2 составляет $(0,3-0,4)^\circ\text{C}$. Температура точки 2 превышает температуру реперной точки 1 на $(0,1-0,15)^\circ\text{C}$. Приведенные цифры относятся к нагрузкам $P=24-29$ т. При меньших величинах усилий изменения температуры трудноопределимы вследствие наложений воздействий случайных факторов, конвекции, бликов и т.д..

Достоверность полученных результатов можно оценить, сопоставляя экспериментальные температуры с величинами их расчетных соответствующих значений. Для этого с использованием программы «Quikfield» рассчитывались поля напряжений и деформаций для случаев плоского напряженного и плоского деформированного состояний и на основании указанных расчетов определялись величины температур в характерных точках 1,2,3,4. При расчетах принималось, что образец термостатирован, а теплофизические характеристики материала рамы следующие: плотность $-8,05 \times 10^3 \text{ кг}/\text{м}^3$; удельная теплоемкость $-0,49 \text{ КДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; теплопроводность $-15 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Полученные при расчетах результаты показывают, что в точках 2,3,4 при нагружении возникают растягивающие напряжения.

Работа деформации в этих зонах расходуется на искажение решетки зерен, частично обратимо запасается в зернах стали, отдельных блоках в виде энергии упругой деформации и частично выделяется в виде тепла. Нагревание образца в этих зонах является результатом двух противоположных тепловых процессов: теплообразования при пластическом деформировании и адиабатическом охлаждении при упругой работе материала [4]. Таким образом, повышение температуры исследуемых зон теплоизолированного образца может быть описано очевидной зависимостью:

$$\Delta T = (A - U - W) / C m - (\Delta T_u + \Delta T_Q), \quad (7)$$

где A – полная работа деформации в исследуемой зоне;

U – энергия упругой деформации;

W – энергия, поглощенная материалом исследуемой зоны;

C, m – теплоемкость и масса охлаждаемых зон, соответственно;

ΔT_u – адиабатическое охлаждение образца;

ΔT_Q – падение температуры образца в результате теплообмена и конвекции.

Из формулы (7) следует, что изменение температуры в точках 2,3,4 зависит как от вида напряженного состояния, объема наиболее деформированных областей металла, так и в значительной степени от способности примыкающего к активным зонам материала быстро поглощать тепло. Сопоставление данных расчетов с экспериментальными результатами замеров в соответствии (7) показывает, что фиксируемое по данным термографии повышение температуры в т. 3 составляет около $(0,1 - 0,2)^\circ\text{C}$ и проявляется при нагрузках $(25 - 28)$ т. Указанное повышение температуры производится при появлении упруго-пластической стадии работы материала в т. 3.

Проведенные исследования показали высокую эффективность применения ИК-термографии для изучения деформированного состояния конструктивных элементов в условиях их интенсивного нагружения и подтвердили обратимый характер тепловых процессов при упругих деформациях. При дальнейших экспериментальных исследованиях таких конструкций необходимо для увеличения информативности измерений повысить коэффициент излучения поверхности образца, например, ее зачернением, теплоизолировать поверхность образца, а измерение температур в наиболее нагретых зонах параллельно с ИК-термографированием проводить с помощью пленочных термопар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальная механика: В 2-х кн: Кн.2/ Под ред. А.Кобаяси. – М.Мир, 1990. – 552 с.
2. А.Надаи. Пластичность и разрушение твердых тел. Т.2.- М.: Мир, 1969.- 863с.
3. К.В.Абрамова, А.В.Пахомов, Б.П.Перегуд, И.П.Щербаков. Инфракрасное излучение, возникающее при деформации и разрушении металлов// Журнал технической физики.- 1988, т.58, в.4.-с.817-821.
4. В.Н.Кунин. Поглощение энергии металлом при пластическом растяжении // Физика металлов и металловедение.-1959.-т.VII, в.5.-с.790-793.

УДК 621.762.4

Якубовский А. Ч., Якубовский Ч.А., Галуза И.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСЕВОГО УПЛОТНЕНИЯ ПРОВОЛОЧНОГО ТЕЛА НАМОТКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В современной технике для интенсификации процессов фильтрации, звукопоглощения, терморегулирования и прочих физико-химических процессов в конструкциях стационарных и передвижных установок часто невозможно обойтись без использования пористых проницаемых изделий (ППИ). В зависимости от условий эксплуатации установок и требований, предъявляемых к эффективности, надежности и безопасности их работы, применяют самые разнообразные ППИ. Заслуживающими внимания с точки зрения регулярности структуры, универсальности свойств и себестоимости являются изделия из проволоки. В частности, созданы новые изделия в форме пористой трубы, получаемые радиальным уплотнением проволочного тела намотки (ТН) цилиндрической формы — пористые изделия на основе навиваемой проволоки (ПИНП) [1, 2].

Не изученным вопросом в области изготовления ПИНП в связи с геометрическими ограничениями проволочного изделия, а также ввиду его структурных особенностей, является осевое уплотнение, когда цилиндрическое ТН испытывает сжимающую нагрузку в продольном направлении (рис. 1). В случае, если уплотнение осуществляется с использованием жесткой оправки диаметром D_0 (он же внутренний диаметр ТН и изделия), наружный диаметр ТН D принимает размер D_1 , а его высота (длина) H — H_1 .

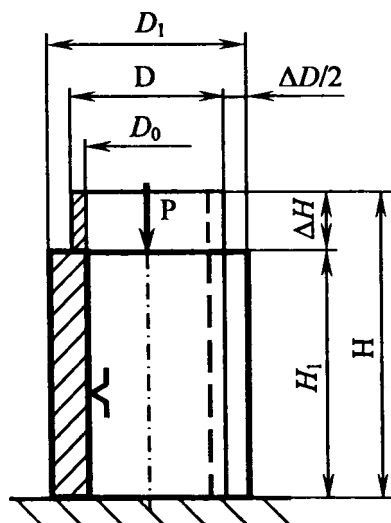


Рис. 1. Схема
осевого уплотнения ТН

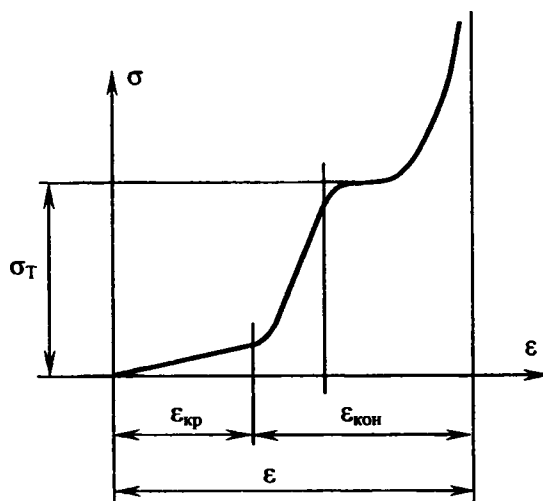


Рис. 2. Диаграмма
осевого уплотнения ТН

Продольное (осевое) сжатие проволочного ТН можно представить как процесс, включающий в себя следующие стадии уплотнения (рис. 2). Вначале происходит упругая деформация ТН за счет свободного сближения (смыкания) витков проволоки (рис. 3), уложенных с шагом s в каждом слое при формировании ТН параллельной или крестовой намоткой [1–3].

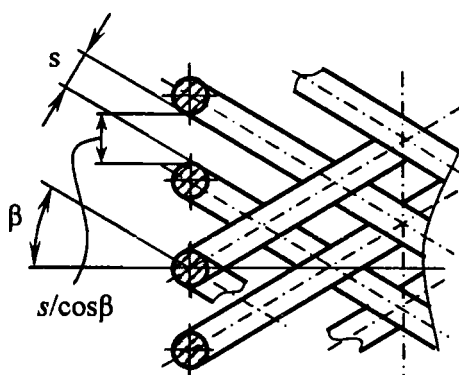


Рис. 3. Схема взаимного расположения витков в ТН

Сближение витков, сопровождающееся их упругим скручиванием относительно оси проволоки подобно работе спиральной пружины, осуществляется до полного смыкания витков. В результате, кроме точечных межвитковых контактов от слоя к слою, появляются линейные контакты в пределах каждого слоя. Однако эта стадия уплотнения не наблюдается, если намотку проволоки производить рядовым методом [3], плотно укладывая витки в слое один к одному.

При этом нельзя пренебрегать контактным трением между витками каждого слоя, а также между витками соседних слоев, несмотря на точечный характер первичных межвитковых контактов [4]. Ведь благодаря контактному трению обеспечивается устойчивость формы и структуры ТН [3]. При этом сила трения в каждом контакте непосредственно связана с силой натяжения проволоки при намотке.

По мере увеличения внешней нагрузки превалирует контактная деформация сомкнутых витков (упругая и пластическая). На этой стадии ввиду чрезмерно малой кривизны витков по сравнению с радиусом сечения проволоки их можно рассматривать как параллельно расположенные цилиндры [1], находящиеся под действием нагрузки q_k , равномерно распределенной по их длине вдоль образующей (рис. 4) [4].

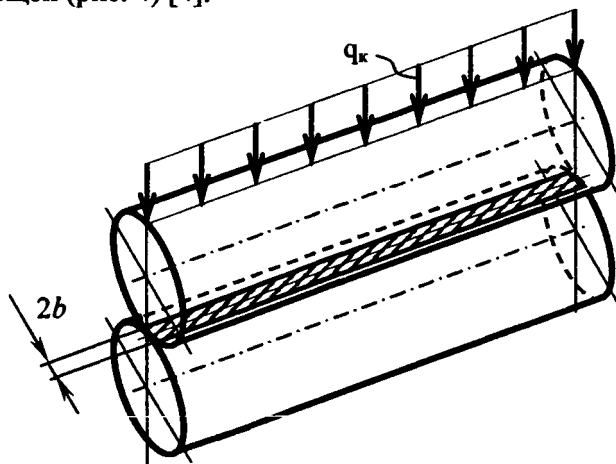


Рис. 4. Взаимодействие цилиндров с параллельными осями

Первоначальное соприкосновение цилиндров по линии переходит в площадку контакта, имеющую вид бесконечной полосы шириной $2 \cdot b$. Длина полосы a в данном случае численно равна длине проволоки l_{np} , необходимой для формирования ТН.

Таким образом, общая работа осевого уплотнения ТН складывается из работы, затрачиваемой на скручивание проволоки при сближении витков, на сопротивление проволоки при контактном взаимодействии витков, а также работы, затрачиваемой на преодоление трения между витками:

$$A = A_{кр} + A_{кон} + A_{тр} . \quad (1)$$

Общая работа уплотнения равна:

$$A = P \cdot \frac{\Delta H}{2} , \quad (2)$$

где P — внешняя сила сжатия; $\Delta H = |H_1 - H|$ — продольная абсолютная деформация ТН. Работа кручения витков определяется выражением [5]:

$$A_{кр} = \frac{M_{кр}^2 \cdot l_{np}}{2 \cdot G \cdot J_p} , \quad (3)$$

где $M_{кр}$ — крутящий момент; l_{np} — длина проволоки, использованная для формирования ТН; G — модуль сдвига материала проволоки; J_p — полярный момент инерции сечения проволоки.

Здесь крутящий момент, длина проволоки, полярный момент инерции сечения проволоки соответственно равны [1, 5]:

$$M_{кр} = P \cdot \frac{n \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np})}{2 \cdot \cos \beta} ; \quad l_{np} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{n \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np})}{d_{np} + s} \cdot H ; \quad J_p = \frac{\pi \cdot d_{np}^4}{32} , \quad (4)$$

где n — количество слоев проволоки в ТН; d_{np} — диаметр используемой проволоки; s — межвитковый зазор, выдерживаемый при формировании ТН; β — угол намотки проволоки.

Тогда выражение (3) с учетом соотношений (4) принимает вид:

$$A_{кр} = P^2 \cdot \frac{[2 \cdot n \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np})]^3}{G \cdot d_{np}^4 \cdot (d_{np} + s) \cdot \cos^2 \beta} \cdot H . \quad (5)$$

Работу контактного взаимодействия витков запишем в следующем виде [1, 4]:

$$A_{кон} = \left(\frac{4}{3} \cdot q_k \cdot l_{np} \right) \cdot \delta_k \cdot n_s , \quad (6)$$

где δ_k — контактная деформация витков проволоки; n_s — количество витков в ТН.

Здесь в качестве внешней нагрузки на пару витков следует принимать распределенную нагрузку q_k (см. рис. 4). Количество витков в ТН находится по формуле [1]:

$$n_s = \frac{2 \cdot H \cdot \cos \beta}{d_{np} + s} . \quad (7)$$

Формула для определения контактной деформации цилиндров, полученная Б.С. Ковальским [6], имеет вид:

$$\delta_k = 0,636 \cdot \frac{q_k}{E} \cdot \left(\ln \frac{d_{np}^2}{b^2} + 0,814 \right). \quad (8)$$

Половина ширины площадки контакта определяется следующим выражением [4]:

$$b = 0,8 \cdot \sqrt{q_k \cdot d_{np} \cdot \frac{1 - \mu^2}{E}}. \quad (9)$$

Наибольшее давление на площадке контакта (рис. 5) находится по формуле [4]:

$$p_{\max} = \frac{2 \cdot q_k}{\pi \cdot b} = 0,8 \cdot \sqrt{\frac{q_k}{d_{np}} \cdot \frac{E}{1 - \mu^2}}. \quad (10)$$

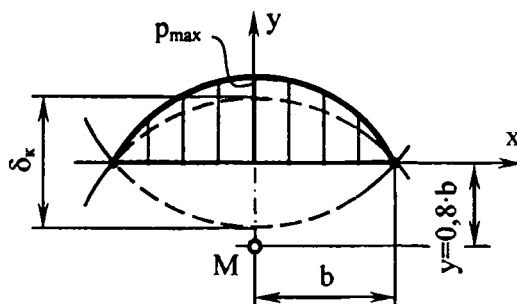


Рис. 5. Распределение давления по ширине площадки контакта

Для площадки контакта в виде полосы наиболее опасной точкой является точка M , лежащая на оси y и имеющая координату $y = 0,8 \cdot b$ (см. рис. 5) [6]. Эквивалентное напряжение в этой точке, вычисленное по гипотезе Сен-Венана, равно:

$$\sigma_{\text{эkv}} = \sigma_1 - \sigma_3 = \sigma_T = 0,6 \cdot p_{\max}, \quad (11)$$

где σ_T — предел текучести материала проволоки.

Тогда выражение (6) с учетом указанных пояснений принимает следующий вид:

$$A_{\text{кон}} = 64 \cdot \pi \cdot n \cdot \frac{(D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np}) \cdot (d_{np})^2}{(d_{np} + s)^2} \cdot H^2 \cdot \cos \beta \cdot \frac{[(1 - \mu^2) \cdot (\sigma_T)^2]^{\frac{1}{2}}}{E^3} \cdot \left(\ln \frac{d_{np}^2}{b^2} + 0,814 \right). \quad (12)$$

Работа, затраченная на преодоление трения между витками, может быть представлена следующим выражением:

$$A_{\text{тр}} = F \cdot \frac{s}{2 \cdot \cos \beta} \cdot n_k \quad (13)$$

где F - сила натяжения проволоки - сила, с которой прижимаются витки при намотке, обеспечивая устойчивость формы и структуры ТН; n_k - количество контактов в ТН.

Здесь количество контактов определяется по формуле [1]:

$$n_{k(TH)} = \pi \cdot n \cdot \frac{(D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np}) \cdot H}{(d_{np} + s)^2} \cdot \sin 2\beta. \quad (14)$$

Тогда выражение (13) с учетом формулы (14) принимает вид:

$$A_{np} = F \cdot \frac{\pi \cdot n \cdot s \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np}) \cdot H}{(d_{np} + s)^2} \cdot \sin \beta. \quad (15)$$

Таким образом, решая совместно выражения (1), (2), (5), (12) и (15), окончательно получим:

$$p = \left[\varepsilon \cdot (1 + n_s) \cdot \cos \beta - 35 \cdot \left(\frac{(1 - \mu^2) \cdot \sigma_T}{E} \right)^2 - \frac{n \cdot D_{cp} \cdot f \cdot \frac{\pi \cdot \operatorname{tg} \beta}{2}}{d_{np} \cdot \left(\frac{1}{n_s} + 1 \right)} \right] \cdot \left(\frac{d_{np}}{n \cdot D_{cp}} \right)^4 \cdot \frac{G \cdot \cos^3 \beta}{8 \cdot \pi}. \quad (16)$$

Здесь приняты следующие обозначения: $p = P/S$ - давление осевого уплотнения ТН; $S = \pi \cdot (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np}) \cdot h$ - площадь нагружения ТН (площадь поперечного сечения ТН - кольцо); $h = 2 \cdot n \cdot d_{np}$ - толщина стенки ТН; $\varepsilon = \Delta H/H$ - относительная осевая деформация ТН; $D_{cp} = (D_0 + 2 \cdot n \cdot d_{np})$ - срединный диаметр ТН как для тонкостенной оболочки; $n_s = s/d_{np}$ - отношение межвиткового зазора к диаметру проволоки; $f = F/P < 1$ - коэффициент трения витков проволоки.

Выражение (16) отражает связь структурных и механических характеристик ПИНП с давлением осевого уплотнения ТН и может быть использовано с целью оптимизации процесса получения изделий с заданными эксплуатационными свойствами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петюшик, Е.Е., Реут, О.П. Якубовский, А.Ч. Основы деформирования проволоочных тел намотки. – Мн.: УП «Технопринт», 2003. – 218 с.
2. А. Якубовский, Е. Петюшик, Технология получения пористых проволоочных изделий // Материалы 22-го междунар. научного симпозиума молодых научных работников и студентов / ВТШ. – Зелена Гура (Республика Польша), 2001. – Т. Механика. – С. 247 – 252.
3. В.А. Сухарев, И.И. Матюшев, Расчет тел намотки. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.
4. Напряженно-деформированное состояние в единичном контакте при упругом деформировании проницаемых материалов на основе проволоки в виде тел намотки / Е.Е. Петюшик, А.Ч. Якубовский, Ч.А. Якубовский, О.П. Реут // Весці Акад. навук Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2002. – № 2. – С. 10 - 15.
5. В.И. Феодосьев, Соппротивление материалов: Учебник для втузов. – М.: Наука, 1967. – 552 с.
6. Б.С. Ковальский, К вопросу о напряжениях при местном сжатии // Научные записки Харьковского авиационного института. – 1940. – Т. 2. – Вып. 2 (5). – С. 15 - 21.
7. Е.Е. Петюшик, А.Ч. Якубовский, Ч.А. Якубовский Пластическое деформирование проволоочного тела намотки // Вестник БГПА. – 2002. – № 1. – С. 31 - 34.

Василевич Ю.В., Неумержицкий В.В., Неумержицкая Е.Ю., Кардович Н.Б., Мелешко Л.Е

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ, ДЕФОРМАЦИОННЫХ И ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕЗИНОВЫХ ПОДШПАЛЬНЫХ ВИБРОИЗОЛЯТОРОВ

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

В настоящее время трасы метрополитена нередко прокладывают вблизи жилой застройки городов. В связи с этим обстоятельством вибрации, возникающие в зданиях, расположенных в технической зоне метрополитена, зачастую превышают допустимые по санитарным нормам. Возникает проблема в разработке эффективных технических решений, направленных на снижение уровней вибрации до допустимых с целью сохранения жилого фонда и использования территории под застройку.

Существует три типа источников вибрации и шума при движении метropolездов. К первому источнику колебаний следует отнести подвижной состав, который создает вибрацию за счет соударения вагонов, тормозной системы, работы двигателя, компрессора. Ко второму источнику колебаний относится динамическая система, включающая взаимодействие поезда с рельсо-шпальной решеткой и основанием пути. Вибрация и шум создаются также при трении образующих очертаний подвижного состава о воздух. Экспериментальные исследования показали, что наиболее значимой долей колебаний, передающихся от подвижного состава тоннельной конструкции, является вибрация основания и верхнего строения пути в результате непрерывного динамического воздействия движущейся массы вагона на рельсовый путь. При движении поезда по рельсовому пути динамическое воздействие колес на рельсы в большей степени зависит от величины упругой деформации пути. При упругом основании сосредоточенная нагрузка распределяется на несколько рельсовых опор. При жестком основании нагрузка, находясь над опорой, полностью передается только на эту опору и поэтому эпюра опорного давления имеет пикообразную форму. При этом нагрузка вызывает сильное динамическое воздействие, в результате чего возникают колебания рельсов и основания тоннеля различной частоты большой мощности. Особенно неблагоприятно на колебания сказывается перерыв в рельсовой нитке – стык, стрелки.

Имеется ряд теоретических и экспериментальных исследований, посвященных решению многих задач этой проблемы.

Японская фирма TRTA для снижения уровня вибрации от подвижного состава метро применила для виброизоляции шпал синтетическую резину толщиной 30 мм. Конструкция резинового виброизолятора представляет трапецевидное в поперечном сечении изделие, которое по внутреннему контуру соответствует трапецевидному контуру шпалы. Виброизолятор изолирует нижнюю, боковые поверхности и торцы шпалы. По имеющейся информации эффект виброизоляции составляет 10-12 дБ. Отметим, что описанная конструкция виброизолятора применима только для калиброванных полиуретановых шпал. Для виброизоляции деревянных шпал, используемых в отечественных тоннелях, данная конструкция непригодна из-за существующих геометрических допусков в размерах шпал по ГОСТ 22830-77.

Обзорная информация о других методах и технических решениях, направленных на борьбу с вибрацией и шумом, создаваемыми подвижным составом метрополитена, содержится в работе [1].

В НИИЛ «Акустика и специальные материалы» БНТУ разработана конструкция подшпального резинового виброизолятора, предназначенного для виброизоляции верхнего строения пути (ВСП) Минского метрополитена. Основная цель, которая преследовалась при разработке виброизолятора, заключалась в достижении максимального снижения уровней вибрации при динамическом воздействии подвижного состава метрополитена с учетом изменения величины нагрузки на шпалу. Кроме того, конструкция предусматривает применение деревянных

шпал с возможными допускаемыми геометрическими отклонениями в размерах шпал согласно ГОСТ 22830-77.

Виброизолятор состоит из трех элементов: нижнего, двух боковых и торцевого. Нижний элемент собирается из двух соединяемых изделий, имеющий одну плоскость гладкую, а вторую ребристой кососимметричной конструкцией по периметру изделия. Гладкие поверхности служат постелью шпалы и опорой основания путевого бетона, а соответствующие ребристые поверхности взаимодействуют друг с другом, образуя единый элемент. Нижняя часть боковых элементов обеспечивает плотное соединение с боковой поверхностью нижнего элемента и позволяет регулировать ширину виброизолятора в зависимости от геометрических размеров.

Опытные образцы резиновых виброизоляторов имеют две системы виброизолирующих элементов – высокие (высота $h_b = 2,8$ см, ширина $a = 1,25$ см, общая длина 142,4 см) с площадью опирания $F_b^0 = 198$ см² и низкие (высота $h_n = 2,2$ см, ширина $a = 1,25$ см, общая длина 154,6 см) с площадью опирания $F_n^0 = 223$ см². Используемая для изготовления виброизоляторов резина ИРП-1347 имеет статический модуль упругости $E_\infty = 1,49$ МПа.

При малых статических нагрузках работают только высокие элементы, а при некоторой переходной нагрузке $P_{пер}$ к ним подключаются низкие элементы. Величина переходной нагрузки определяется разностью δ высоты элементов ($\delta = 0,6$ см), начальным коэффициентом формы высоких элементов $K_{ф.в}^0$ и статическим модулем упругости резины

$$P_{пер} = F_b^0 \cdot K_{ф.в}^0 \cdot E_\infty \frac{\delta}{h_b - \delta}. \quad (1)$$

Начальный коэффициент формы $K_{ф}^0$ определяется отношением площади опирания к площади боковых поверхностей элементов виброизолятора

$$K_{ф}^0 = 1 + m \frac{F_b^0}{F_{бок.в}}. \quad (2)$$

Вследствие большой длины элементов по сравнению с их шириной коэффициент формы может определяться по упрощенной формуле

$$K_{ф}^0 = 1 + m \frac{a}{2h}. \quad (3)$$

Коэффициент m для основания виброизолятора, выполненного заодно с резиновой прокладкой, выбирается равным $m = 4,67$. Для того, чтобы учесть деформацию прокладки вследствие малого модуля упругости резины, принимаем эффективную высоту высоких элементов $h_b^{эфф} = 3$ см. При этом начальный коэффициент формы высоких элементов $K_{ф.в}^0 = 1,973$, значение переходной нагрузки на один виброизолятор $P_{пер} = 14,55$ кН.

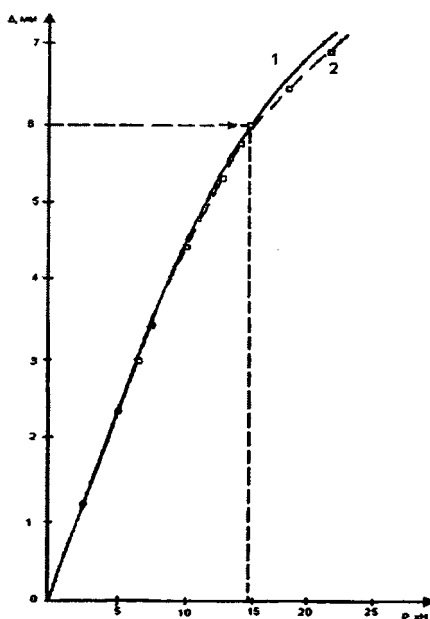
При статической нагрузке, превышающей переходную, начинают деформироваться низкие виброизолирующие элементы. При отсутствии взаимодействия между высокими и низкими элементами справедливо следующее соотношение между статической нагрузкой P и осадкой Δ виброизолятора

$$P = P_b + P_n = \frac{F_b^0 K_{ф.в}^0 E_\infty}{h_b^0 - \Delta} + \frac{F_n^0 K_{ф.н}^0 E_\infty (\Delta - \delta)}{h_n^0 - (\Delta - \delta)}, \quad (4)$$

где P_v , P_n – нагрузки, приходящиеся на высокие и низкие элементы виброизолятора. Для системы низких элементов имеем (приняв как это сделано для высоких элементов, $h_n^{\text{эфф}} = 2,4$ см) $K_{\text{ф.в}}^0 = 2,216$. Задаваясь значениями $\Delta > \delta$, по соотношению (4) можно построить зависимость осадки виброизолятора от статической нагрузки при $P > P_{\text{пер}}$ (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1 – Осадка виброизолятора при $P > P_{\text{пер}}$

Δ , см	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
P_v , кН	16,09	17,72	19,40	21,17	23,01
P_n , кН	1,58	3,20	4,91	6,69	8,56
P , кН	17,67	20,92	24,31	27,86	31,57



*Рис. 1. Зависимость осадки амортизатора от нагрузки:
1 – экспериментальная зависимость, 2 – расчетная зависимость*

Как видно из рис. 1, расчетная зависимость осадки амортизатора от статической нагрузки (кривая 2) несущественно отличается от определенной экспериментальным путем кривой 1, что подтверждает правильность выбранных для расчета коэффициентов и сделанных допущений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорман, И.Я. Обзорная информация (борьба с вибрацией и шумом, создаваемыми поездами метрополитена) / И.Я. Дорман. – М., 1973.

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ ПРОЧНОСТИ СТАЛЬНОЙ АРМАТУРЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

1. Введение

В конструкционном материаловедении различают две группы механических свойств материалов: 1) определяемые по результатам испытаний стандартных образцов в лаборатории, и 2) прочность этих же материалов в составе конструктивных элементов. Профессор Я.Б. Фридман [1] указывает причины вызывающие различие между прочностью материалов и деталей: 1) масштабный фактор, т.е. влияние различия в абсолютных размерах образцов и деталей; 2) концентрация напряжений (обычно неодинаковая у образцов и деталей); 3) различные градиенты напряжений; 4) наличие в деталях остаточных напряжений при отсутствии или ином распределении их у образцов; 5) различная анизотропия свойств в деталях и в образцах; 6) различные внешние среды, воздействующие на деталь и образец при их нагружении; 7) неодинаковая жесткость деталей и образцов, ведущая к различному запасу упругой энергии и темпу подвода энергии в процессе деформации и разрушения; 8) качество состояния поверхности у деталей и образцов; 9) различные режимы нагружения во времени.

Сочетание этих факторов в расчетных зависимостях для большинства реальных ситуаций при современном уровне знаний затруднительно, что предопределяет необходимость применения натурных испытаний для определения расчетного сопротивления материалов в составе элементов конструкций. Указанные факторы, влияющие на прочность и деформацию детали под действием нагрузки, могут быть разделены на три группы [1]. Для первой группы определяющими являются свойства материала при данной скорости и температуре нагружения. До настоящего времени в большинстве случаев измеряемые механические характеристики обычно являются критическими и закритическими и потому определяются не только свойствами материала, но также и формой и размерами образца. Для второй группы существенна характеристика деталей или образца, форма и размеры которых в значительной мере определяют напряженное и деформированное состояние, податливость и скорость нагружения. Третья группа объединяет факторы, характеризующие условия нагружения: режим нагружения, в частности, условия закрепления, число повторений нагружения, температура и скорость, податливость нагружающей системы, внешняя среда (коррозионная, влажность, облучение и т.д.).

Характеристикой степени использования материала в конструкциях может служить отношение действительной несущей способности конструкции к несущей способности при полном использовании прочности материала для данного вида нагружения. У реальных конструкций и деталей это отношение обычно меньше 0,5, что указывает на возможное недоиспользование прочности материала в элементах конструкций.

В силу изложенного прочность материала в составе элемента конструкции выделяется и другими авторами [1-3] в особую категорию, наиболее часто именуемую как конструктивная (конструктивно-технологическая) прочность.

До недавнего времени для обычного железобетона в отечественном строительстве использовалась в основном стержневая арматура из стали классов А-I, А-II и А-III, требования к которым регламентируется ГОСТ 5781, и из стали классов А400С и А500С, нормируемых ГОСТ 10884, а также - холодноотянутая проволока периодического профиля диаметром 3-5 мм класса Вр-1 по ГОСТ 6727.

Технико-экономический анализ показал, что применение многих классов арматурной стали приводит к удорожанию строительства. Поэтому с 1991 года в европейской практике проявилась тенденция к замене многих классов арматуры периодического профиля на единый

класс свариваемой арматуры периодического профиля В500 с пределом текучести $\sigma_T > 500$ Н/мм² по стандарту EN 10080. Такая унифицированная арматура, имеет химический состав определяемый содержанием в стали углерода (не более 0,22%) и углеродным эквивалентом $C_{экв} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15$ (не более 0,5). Арматурная сталь этого класса выпускается термомеханически упрочненной в потоке проката, горячекатаной с микролегированием или холоднодеформированной.

В производстве арматуры стран СНГ проявляется подобная ситуация. Современное производство арматурного проката характеризуется устойчивой тенденцией к снижению расхода дорогостоящих легирующих элементов при одновременном повышении прочностных параметров арматурных сталей за счет термического упрочнения с прокатного нагрева. Таким образом, из углеродистых сталей (в основном Ст3) получают арматуру более высокого, чем ранее, класса.

Получаемая при таком технологическом воздействии арматура относится к классу функционально-градиентных (слоистых) материалов, характерной особенностью которой является явно выраженное плавное изменение механических свойств, химического состава и др. характеристик по поперечному сечению стержня. В результате обработки прокат получает новые механические, технологические и другие свойства, влияние которых на изменение конструктивно-технологической прочности в значительной мере не исследовано.

II. Факторы, определяющие конструктивно-технологическую прочность арматуры

Свойства отечественных арматурных сталей, изделий из арматуры, поведение арматурных стержней при конструктивных, технологических и эксплуатационных воздействиях многообразием исследованы и опубликованы в ряде работ [2, 4, 5-12].

Основным требованием к строительным в т.ч. к арматурным, сталям является наличие высокой конструктивно-технологической прочности, под которой понимают сопротивление стали при ее работе в элементах конструкций нагрузкам, имеющим место при эксплуатации сооружений статическим, ударным, циклическим, в том числе в условиях отрицательных климатических температур и естественных агрессивных сред.

Параметрами прочности являются не все механические характеристики стали, определенные по испытаниям стандартных образцов, а лишь те, что тесно коррелируют с конструктивно-технологической прочностью элементов арматуры в условиях эксплуатации.

Конструктивно-технологическая прочность обычной арматуры железобетонных конструкций экспериментально изучалась рядом авторов в связи с решением частных производственно-технологических задач [4, 6, 7-14]. Так, на примере арматурного горячекатаного проката из сталей Ст5, 18Г2С, 35ГС в работах [13, 14] экспериментально исследуется прочность и пластичность арматурных стержней в состоянии поставки, прочность сварных соединений и влияние на них различных конструктивно-технологических факторов, влияние геометрии периодического профиля на пластичность и прочность арматуры и др. По данным указанных работ можно выделить следующие группы факторов, определяющих конструктивно-технологическую прочность арматурного проката.

1. Геометрия профиля существенно сказывается на пластичности и прочности арматурного стержня. Она предопределяет напряженно-деформированное состояние поверхностной зоны арматуры. Так, для арматуры из сталей Ст5, 35ХГС отмечен рост разрывов винтовых выступов в сжатой зоне изгибаемого стержня вследствие особенностей напряженного состояния, уменьшении радиуса изгиба, понижении температуры. Отмечено [13, 14], что винтовые выступы исследованных стержней практически не участвуют в формировании сопротивления стержня внешним нагрузкам. Так, перерезание их сечения до основания выступа на строгальном станке и зубилом не приводило к изменению прочности и пластичности. Наиболее вредно и опасно влияние винтовых выступов на цилиндрическую часть стержня и продольно направленные выступы-ребра. Так, винт, изготовленный из пластичной стали Ст3, разрушается хрупко из-за появления радиальных растягивающих напряжений, вызываемых винтовой нарезкой (рис. 1).

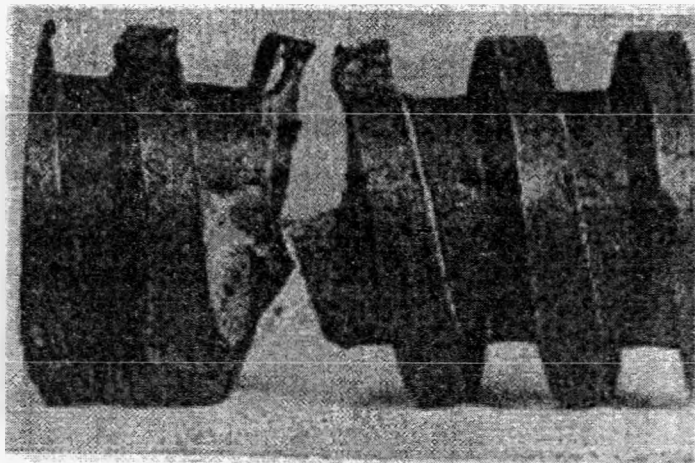


Рис. 1.

Винтовые выступы сказываются на состоянии и работе продольных ребер. Так, экспериментально подмечено [13], что винтовые выступы одной боковой полуповерхности, укорачиваясь, смещаются навстречу боковым выступам другой боковой полуповерхности и при этом они изгибают или сдвигают разграничивающие их продольные ребра.

2. Конструктивно-технологические надрезы (дефекты). На работе продольного ребра арматурного стержня сказывается наличие на нем дефектов (надрезы, подрезы, вмятины, и т.п. концентраторы напряжений).

Насечки на продольных ребрах приводят к хрупкому разрушению. Надрез продольного ребра стержня из стали 35ГС вызвал уменьшение в 6-7 раз относительного сужения образца при разрыве сравнительно с теми же характеристиками неповрежденного стержня (рис. 2).

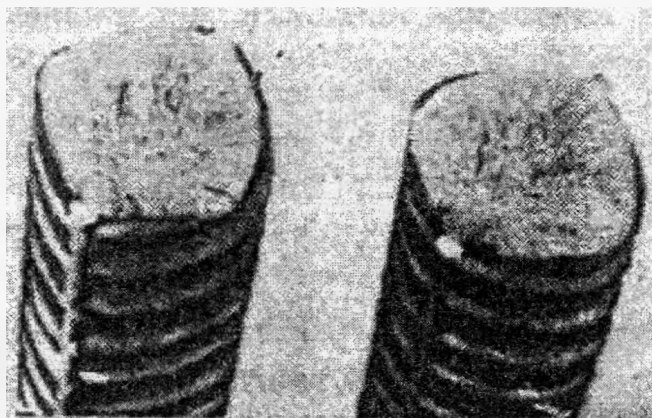


Рис. 2.

3. Сварочные воздействия. Местное воздействие сварки приводит к изменению структуры материала, вызывает снижение конструктивно-технологической прочности, снижает сопротивляемость хрупким разрушениям, переменным нагрузкам и воздействиям коррозионной среды. Сварные соединения, выполненные контактной сваркой, показали высокую прочность соединений и стабильность результатов испытаний. Разрушение происходит рядом со стыком, в местах подплавлений, надрезов и т.п.. (рис.3). Стыки, выполненные ванной сваркой, с применением парных накладок разрушаются хрупко с очагом разрушения в местах концентраторов, надрезов и т.п. (рис.4). Существенно сказываются на прочности стыков, выполненных ванной сваркой, геометрические параметры соединения (зазоры между элементами, размеры формы и др.). Показано [13,14], что прочность соединений зависит от технологии сварки: наличия непроваров, наличия пор, состояния сварочных материалов и т.д. Стыки с накладками (рис. 5)

весьма чувствительны к изгибу, расположению накладок, соотношению площади накладок площади сечения соединяемого элемента.

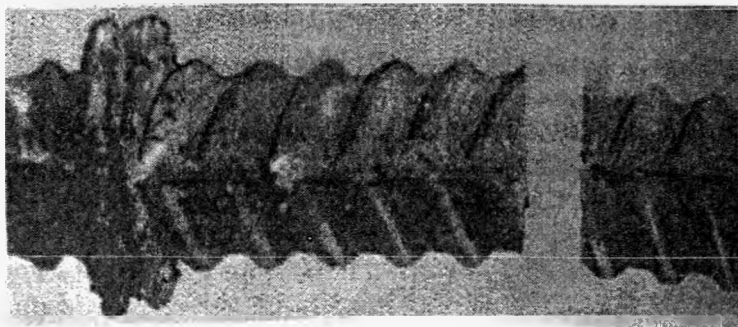


Рис.3.

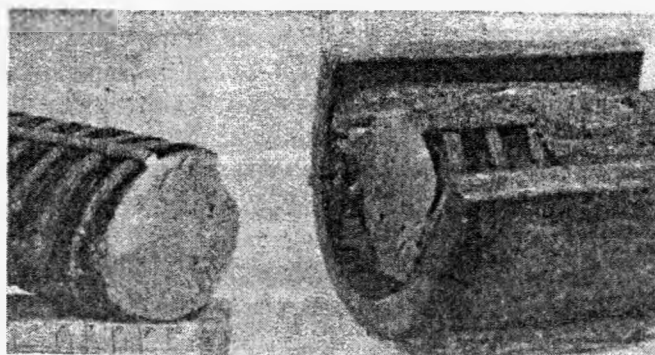


Рис.4.

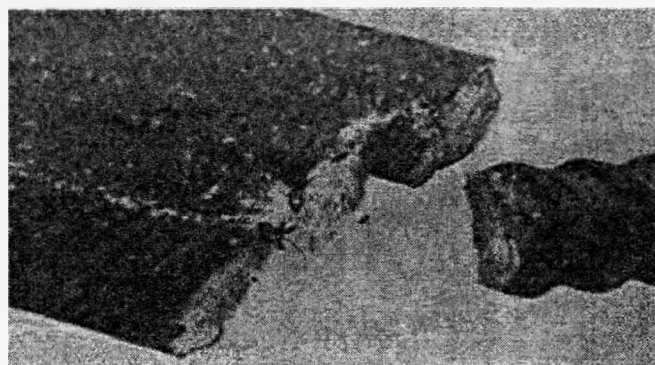


Рис.5.

Подплавление продольного ребра при контактно-стыковой сварке также приводит к хрупкому разрушению стержня.

Проведенные опыты позволили классифицировать [13,14] участки арматурного стержня по опасности конструктивно-технологических воздействий (рис.6): I- места неопасных воздействий; II-относительно возможные места повреждений и воздействий; III- места, в которых не рекомендуются технологические воздействия; IV- места, в которых конструктивно-технологические воздействия недопустимы.

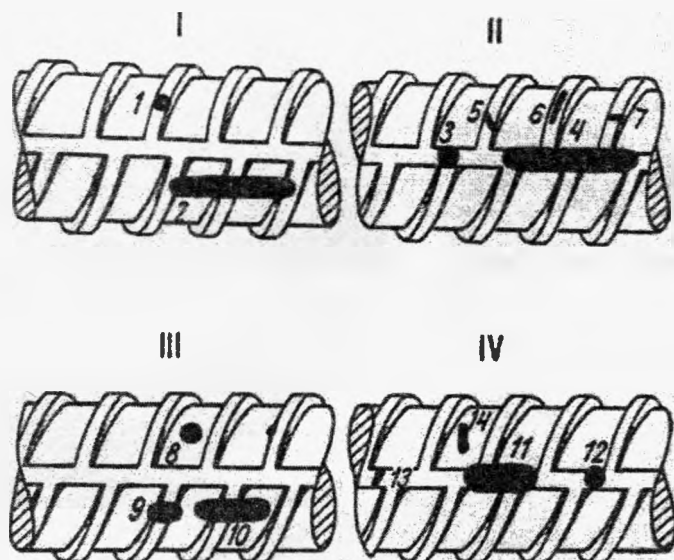


Рис.6.

III. Факторы, определяющие конструктивно-технологическую прочность функционально-градиентных (слоистых) арматурных стержней

При производстве функционально-градиентных (слоистых) арматурных стержней формирование требуемой структуры проката и свойств его составляющих, дислокационных субструктур происходит в процессе температурно-временных воздействий в линии прокатных станов [15-17]. В отдельных исследованиях [18,19] установлено, что в результате термообработки арматуры по режиму прерывистой закалки в сечении стержней образуется слоистая структура в виде различных структурных слоев. Микроструктура слоев в направлении от поверхности к осевой зоне изменяется. Слоистое строение таких арматурных стержней зависит от диаметра стержня [18]. С его увеличением от 12 до 22 мм растет и толщина упрочненных поверхностных слоев при сохранении структурных составов. Наличие в поперечном сечении арматурных стержней диаметром 16,20,22мм (материал арматуры- Ст3пс) и 40мм(сталь 18Г2С) структурной неоднородности подтверждают и исследования диаметрального распределения микротвердости. При этом максимальную твердость имеет приповерхностная часть арматурного стержня, а минимальную- центральный участок [18,19]. Исследования авторов подтвердили эту особенность и для арматурных профилей, используемых в Беларуси. Полученное макростроение стержней показано на рис.7 .

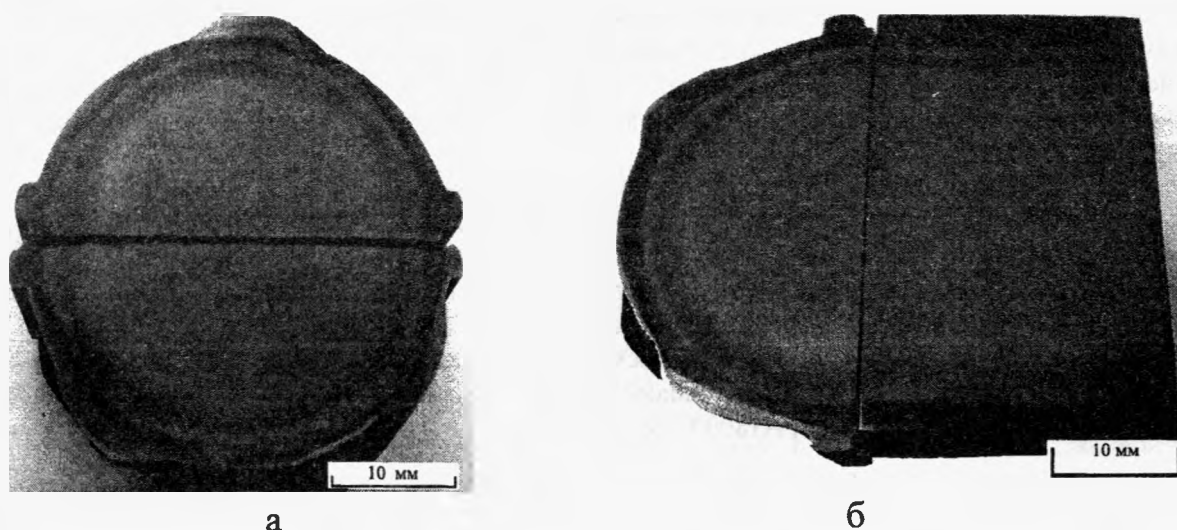
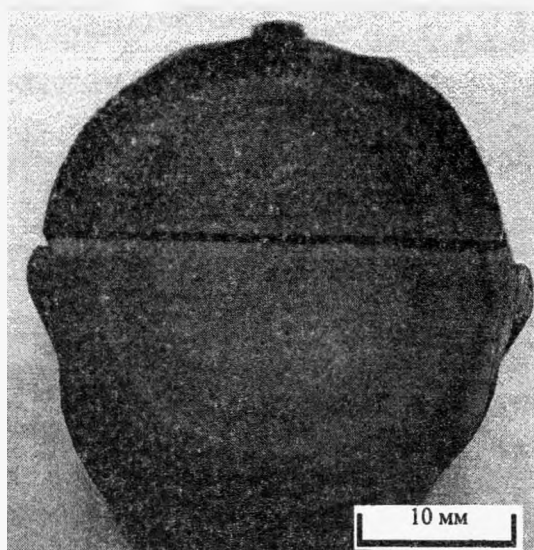
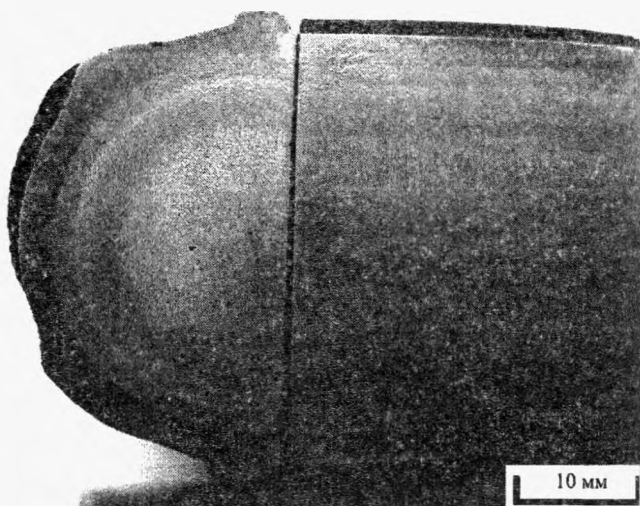


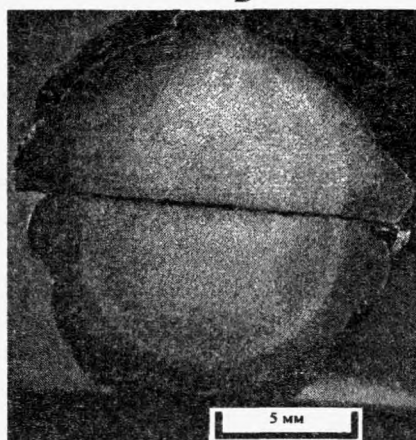
Рис. 7. Макроструктура арматуры: а,б – Ø32мм; в,г – Ø25мм; д,е – Ø12мм



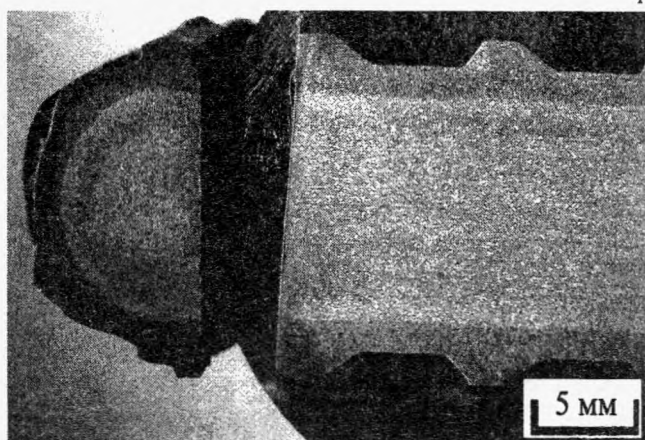
В



Г



Д



е

Окончание рис. 7

Приповерхностный слой таких стержней состоит из продуктов отпуска мартенсита, промежуточные слои - из отпущенного бейнита и феррита; срединный слой содержит вырожденный перлит и феррит с вкраплениями видманштеттового феррита при больших диаметрах стержней. Толщины приповерхностного и промежуточных слоев меньше изменяются с ростом диаметра стержня, чем осевого слоя. Измерения микротвердости в поперечных и продольных сечениях подтверждают наличие слоистого строения у исследованных арматурных стержней (рис.8). Эта закономерность подтверждается и микроструктурой различных участков арматурных стержней.

Разброс величин микротвердости (временного сопротивления) для различных слоев термомеханически упрочненного проката колеблется в пределах 130...275, а для горячекатаной арматуры соответствующий интервал составляет 160...245.

Комплексное исследование влияния технологических воздействий на прочностные характеристики функционально-градиентных арматурных сталей проведено в 2002-2005г.г. в РГСУ[21-23]. Взаимосвязь упругопластического деформирования одноосным растяжением и изменения механических свойств и условий вязкохрупкого перехода арматурных горячекатаных сталей классов А240, А400, Ат800 проанализирована и в работе [21].

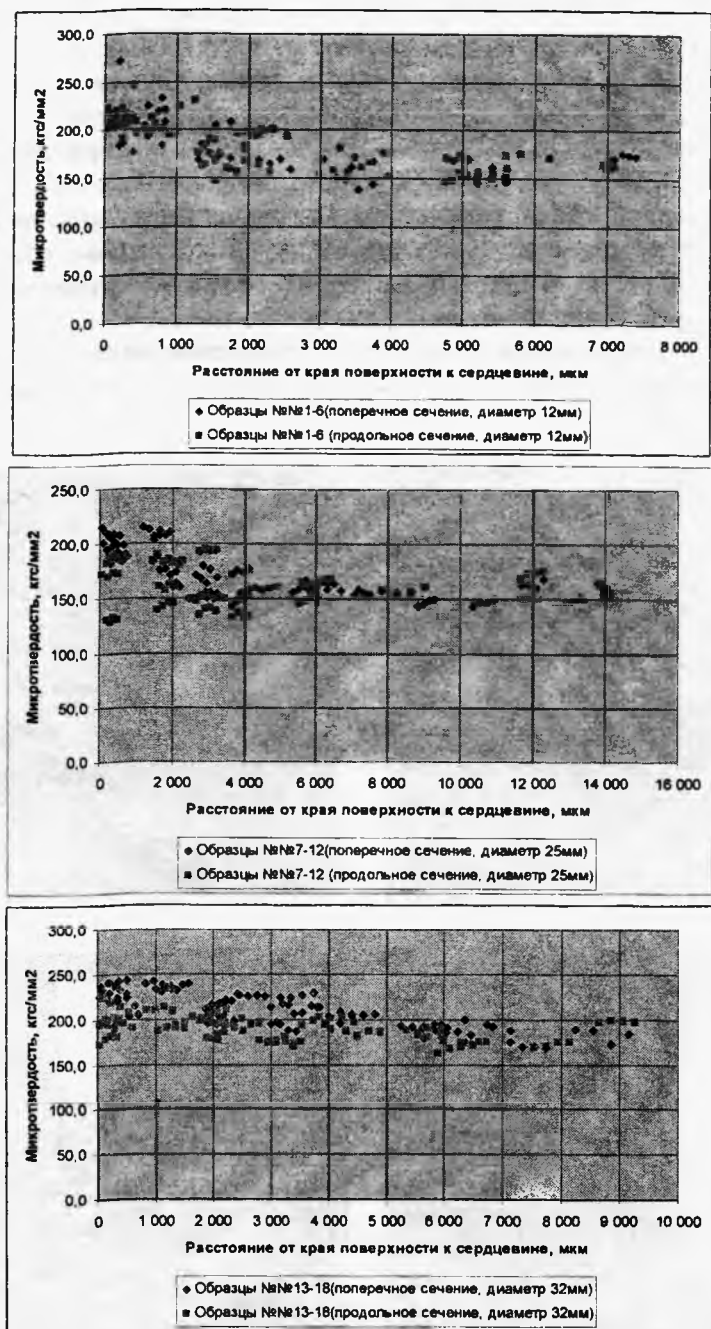


Рис.8.Распределение микротвердости по поперечному сечению арматурных стержней Ø12,25,32 мм

Там же приводятся данные, показывающие влияние упругопластического деформирования при напряжении, превышающем предел текучести, на склонность горячекатаной арматуры к хрупкому разрушению. Получено [22], что горячекатаные арматурные стали классов А240, А400 не имеют прочностных резервов и при незначительном превышении рабочими напряжениями предела текучести проявляют склонность к хрупкому разрушению. Термомеханически упрочненная сталь класса Ат800 имеет более высокие прочностные характеристики. В работе [23] обобщены данные экспериментальных исследований арматурных сталей классов А500С, Ат800 при напряжениях, превышающих предел текучести, что показало возможность упрочнения этой арматуры одноосным растяжением выше предела текучести. Экспериментально исследована их склонность к хрупкому разрушению и определены предельно допустимые отрицательные температуры их безопасной эксплуатации (для стали А500С-[Т]_{min}=-43оС (в состоянии поставки) и) [Т]_{min}=-30оС (в состоянии упрочнения). Показано, что при резком

нагреве от (-43)оС до 300...350 оС и последующем продолжительном охлаждении снижается твердость поверхностного слоя арматурных стержней (для А500С-на 20%, для Ат800- на 8%).

Экспериментальное исследование эксплуатационных характеристик арматурной стали класса А500С проводили в НИИЖБ, ЦНИИСК, Моспромжелезобетон. При этом установлено, что механические характеристики такой арматуры соответствуют требованиям СТО ВСЧМ 7-93 и ТУ 14-1-5393-200.

Приведенные исследования функционально-градиентных арматурных сталей недостаточны для оценки конструктивно-технологической прочности сварных соединений с использованием таких стержней. На изменение конструктивно-технологической прочности таких стержней существенно сказывается их начальная слоистость.

Наши исследования выявили значительное изменение макроструктуры в поперечных сечениях слоистых стержней в сварных соединениях арматурных стержней. Пример таких изменений показан на рис.9.

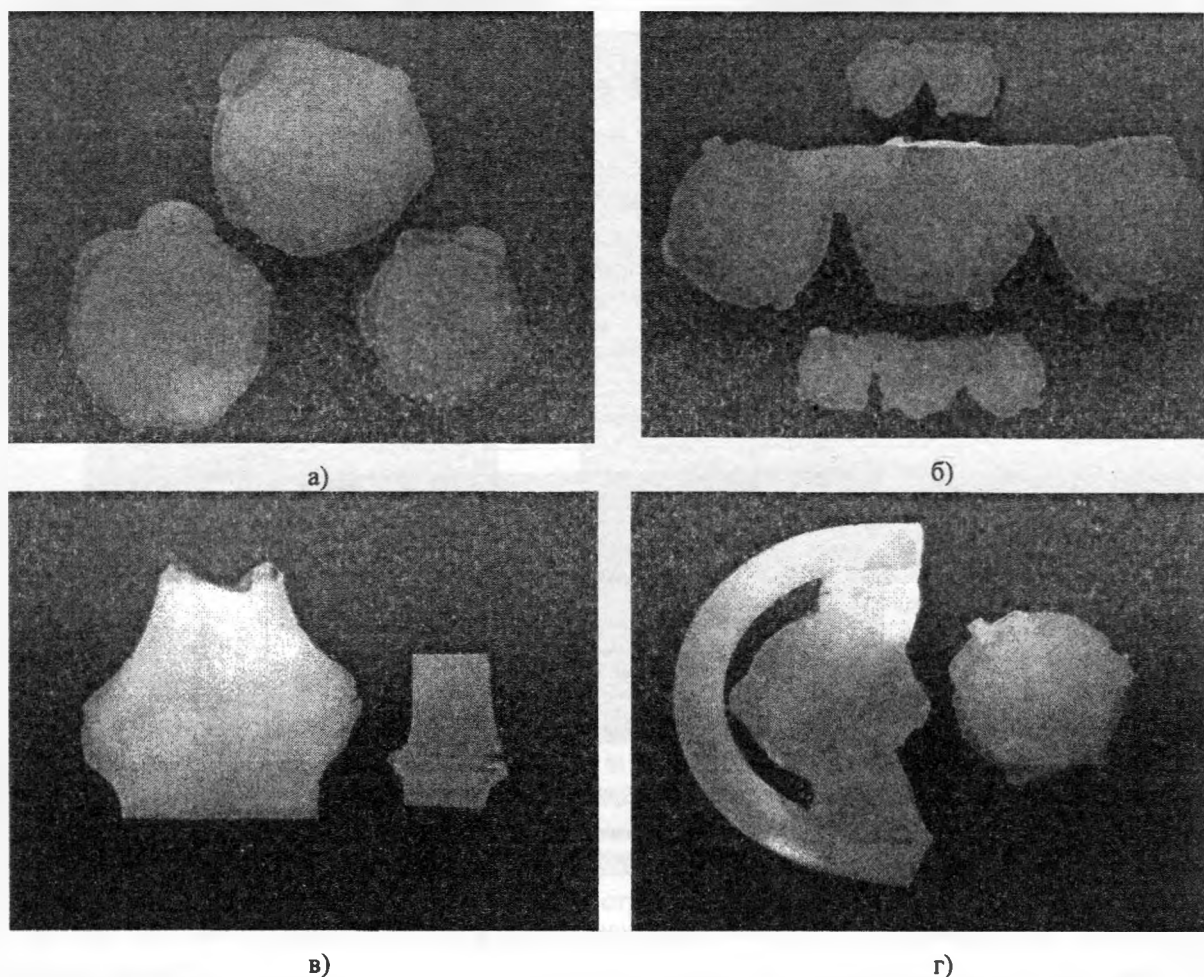


Рис. 9. Образцы для исследований изменений макроструктуры арматуры после тепловых воздействий: а) при наплавке; б) при сварке фланговыми швами; в) при контактной сварке; г) при ванной сварке

IV. Заключение

1. Данные экспериментов позволяют выделить на поверхности арматурного горячекатаного стержня 4 участка по опасности конструктивно-технологических воздействий: I- места неопасных воздействий; II-относительно возможные места повреждений и воздействий; III-места, в которых не рекомендуются технологические воздействия; IV- места, в которых конструктивно-технологические воздействия недопустимы (см.рис.2.2). Исследование конструктивной прочности арматурных изделий и их предельных состояний необходимо проводить с учетом указанных 4-х участков.

2. Прокат арматурный (по ТУ РБ 04778771.001-97, ГОСТ 5781-82) имеет слоистое строение с 5-ю соосно расположенными слоями, имеющими различные механические свойства, а арматурный стержень можно рассматривать как композитный стержень со слоистой структурой. Величины микротвердости слоев, измеренные в поперечных и продольных сечениях одного и того же стержня, отличаются между собой.

3. При проектировании изделий из исследованных арматурных стержней, у которых более прочные слои располагаются в приповерхностной зоне, и расчетах элементов конструкций с их использованием следует учитывать повышенную чувствительность таких стержней к надразам различной природы, изменения механических характеристик слоев при технологических и эксплуатационных температурных воздействиях, изменения прочности и деформативности в результате воздействия коррозионных сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фридман, Я.Б. Механические свойства металлов. Изд. 3-е. В 2-х частях. Ч.2. Механические испытания. Конструкционная прочность. -М.:Машиностроение, 1974.-368с.
2. Бродский А.Я., Евстратов Т.И., Фридман А.М. Сварка арматуры железобетонных конструкций на строительной площадке.-М.:Стройиздат, 1978.-193с.
3. Кишкин Б.П. Конструкционная прочность материалов.-М.: Изд-во МГУ, 1967.-184с.
4. С.А.Мадатян. Арматура железобетонных конструкций.-М.:2000.-256с.
5. Мурашев В.И. Трещиноустойчивость, жесткость и прочность железобетона.-М.:Строймашиздат, 1960.
6. Соколовский П.И. Арматурные стали.-М.:Металлургия, 1964.-207с.
7. Мулин Н.М. Стержневая арматура железобетонных конструкций.- М.:Стройиздат, 1974.-232с.
8. Аваков А.И. Холодносплюснутая арматура периодического профиля для железобетона.-М.: Госстройиздат, 1954.
9. Иванов А.И. Холодносплюснутая арматура периодического профиля для железобетона.-М.: Госстройиздат, 1954.
10. Бродский А.Я. Сварка арматурной стали.-М.:Госстройиздат, 1961.
11. Высокопрочная арматурная сталь/Кугушин А.А., Узлов И.Г., Калмыков В.В. и др.-М.:Металлургия, 1986.-271с.
12. Скоробогатов С.М. Основы теории расчета выносливости стержневой арматуры железобетонных конструкций.-М.: Стройиздат, 1976.-108с.
13. Дулькин В.Я. Конструктивная прочность стержневой арматуры железобетона.-Петрозаводск: Карельское книжное издательство, 1967.-63.
14. Дулькин В.Я., Луговская Н.А., Конькова А.А., Мехилийнен Л.С. Экспериментальное исследование прочности и пластичности горячекатаной арматуры периодического профиля// Строительство и архитектура, 1966, №9, с.10-17.
15. Мадатян С.А. Сталь класса А500С для нового поколения арматуры железобетонных конструкций// Национальная металлургия.-2002, №4.
16. Натапов А.С., Левченко Л.Н., Баскин С.Л. Производство эффективных арматурных профилей для железобетона.-М.:Металлургия, 1992.-208с.
17. Айзатулов Р.С., Черненко В.Т., Мадатян С.А. и др. Освоение массового производства арматурной стали повышенной надежности класса А400С для железобетона// Сталь. 1998. №6. С.53-58.
18. Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я., Ефимов О.Ю., Мыскова Н.В., Прокофьева О.С. Структура термически упрочненной стержневой арматуры// Технология металлов.-2005, №9.-с.5-7.
19. Чинокалов В.Я., Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю., Михаленко И.А., Мыскова Н.В. Прочность структурных слоев в сечении термически упрочненной арматуры// Технология металлов.-2005, №10.-с.15-18.

МАКРОСТРУКТУРА АРМАТУРНЫХ СТЕРЖНЕЙ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

В производстве стержневой арматуры для железобетонных конструкций прослеживается устойчивая тенденция к снижению расхода дорогостоящих легирующих элементов при одновременном повышении прочности проката. Основные поставщики арматуры на белорусский рынок (РУП «БМЗ», ОАО «ЗСМК», Челябинский МК и др.) высоких прочностных характеристик арматурного проката из углеродистых и низколегированных сталей достигают за счет его термообработки. В основе этого процесса лежит формирование требуемой структуры проката и свойств его составляющих, дислокационных субструктур в процессе температурно-временных воздействий в линии прокатных станов [1-3]. В отдельных исследованиях [4,5] установлено, что в результате термообработки арматуры по режиму прерывистой закалки в сечении стержней формируется градиентная структура в виде различных структурных слоев. Микроструктура слоев в направлении от поверхности к осевой зоне изменяется. Эти исследования [4], проведенные с использованием термически упрочненной на класс А500С арматуры из низкоуглеродистых сталей производства ОАО «ЗСМК», показали, что строение арматурных стержней зависит от диаметра стержня [4]. С увеличением диаметра от 12 до 22 мм растет и толщина упрочненных поверхностных слоев при сохранении структурных составов. Наличие в поперечном сечении арматурных стержней диаметром 16,20,22мм (материал арматуры - Ст3пс) и 40мм (сталь 18Г2С) структурной неоднородности подтверждают и исследования диаметрального распределения микротвердости. При этом максимальную твердость имеет приповерхностная часть арматурного стержня, а минимальную - центральный участок [4,5].

Поставляемая металлургами арматура в процессе изготовления железобетонных конструкций подвергается ряду технологических воздействий (резка, правка, пластическое деформирование, сварка и т.д.). При работе железобетонного элемента под нагрузкой происходит изменение первоначального структурно-фазового состояния арматуры. Длительные сроки эксплуатации железобетонных конструкций вследствие этого приводят к ухудшению механических характеристик арматуры [6].

Прочностные и деформационные характеристики отдельных слоев арматурных стержней определяют механические характеристики стержня в целом, существенно сказываются на работе арматуры как в процессе изготовления железобетонных конструкций, так и при их нагружении [5-7].

Термическая обработка при прокатке приводит к формированию по сечению стержня участков с неодинаковыми механическими характеристиками. Так, при закалке образцов диаметром от 2 до 16мм существенно изменяется распределение микротвердости по сечению [7], что придает арматурным стержням новые свойства.

Из приведенных литературных данных неясно, как сказываются геометрические параметры арматурных стержней (наличие продольных ребер в арматуре или их отсутствие) на изменение микротвердости наружных и внутренних участков арматурных стержней различных диаметров, насколько коррелирует распределение микротвердости по поперечному и продольному сечениям арматуры, как изменяется распределение микротвердости в арматурных стержнях, прокатанных по различным технологиям. Для ответа на указанные вопросы в настоящей работе выполнено металлографическое исследование арматуры РУП БМЗ и Челябинского МК.

Пробы для изготовления заготовок отбирались из трех партий стержневой арматуры (табл.1) на ОАО «Завод сборного железобетона №1» (г.Минск), из которых затем вырезали заготовки, темплеты и готовили шлифы. Подготовка проб производилась фрезой при малых оборотах и интенсивной подаче охлаждающей жидкости в зону реза. Структурную неоднородность выявляли по измерениям микротвердости прибором «Micromet-II» (свидетельство о поверке от

01.03.2006г.) с нагрузкой на призму 100 г в соответствии с требованиями ГОСТ 9450-76. Полученные результаты представляли в табличной (табл.2) и графической форме (рис.1).

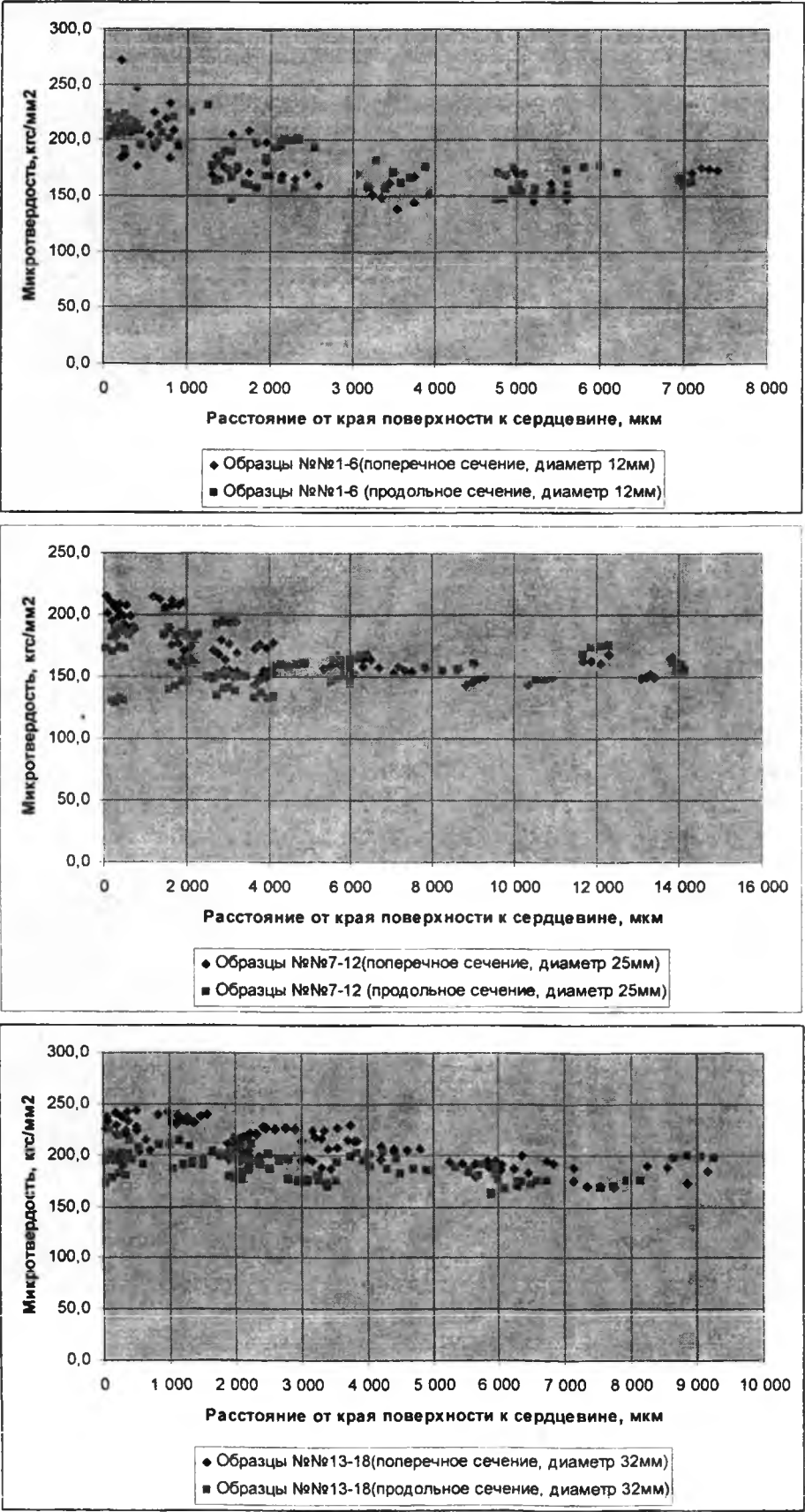


Рис.1.Распределение микротвердости по поперечному сечению арматурных стержней Ø12,25,32 мм

Таблица 1 – Характеристики арматурных стержней

№ п.п	Класс арматуры, марка стали	Ø, мм	Химический состав, %										Механические свойства			
			C *)	Si *)	Mn *)	P **)	S **)	Cr *)	Ni *)	Cu *)	As *)	N2 **)	σ _т , Н/мм ²	σ _в , Н/мм ²	A5, %	Угол изг.
1	Ат500С,	12	19	18	60	23	16	8	9	20	1	8	585,0	675,0	25,5	90
2	Ат500С,	25	18	19	58	9	16	13	10	21	1	9	550,0	660,0	20,5	90
3	А-III, 35ГС	32	34	51	112	27	16	4	4	4	-	-	430,0	690,0	27,0	90

Примечания. 1. *) – увеличенное в 100раз; **) - увеличенное в 100раз; 2. Позиции 1,2: прокат арматурный и термомеханически упрочненный по ТУ РБ 04778771.001-97 производства РУП БМЗ; позиция 3: сталь горячекатаная для армирования по ГОСТ 5781-82 производства ОАО Челябинский МК.

Таблица 2 – Изменения микротвердости и временного сопротивления слоев арматурных стержней

Диаметр стержня, мм	Интервалы изменения микротвердости по Виккерсу и временного сопротивления слоев стержней (слои отсчитываются от поверхности к сердцевине)									
	1 слой		2 слой		3 слой		4 слой		5 слой	
	HV	σ _в , МПа	HV	σ _в , МПа	HV	σ _в , МПа	HV	σ _в , МПа	HV	σ _в , МПа
12	200-275	680-930	187-225	630-760	160-210	540-710	155-200	530-680	140-160	480-540
25	185-215	630-730	150-215	510-730	135-190	460-650	140-160	480-540	130-160	440-540
32	190-245	650-830	190-240	650-810	175-225	590-760	170-200	580-680	160-190	540-650

Макроструктура в поперечном и продольном сечениях арматурных стержней показана на рис. 2.

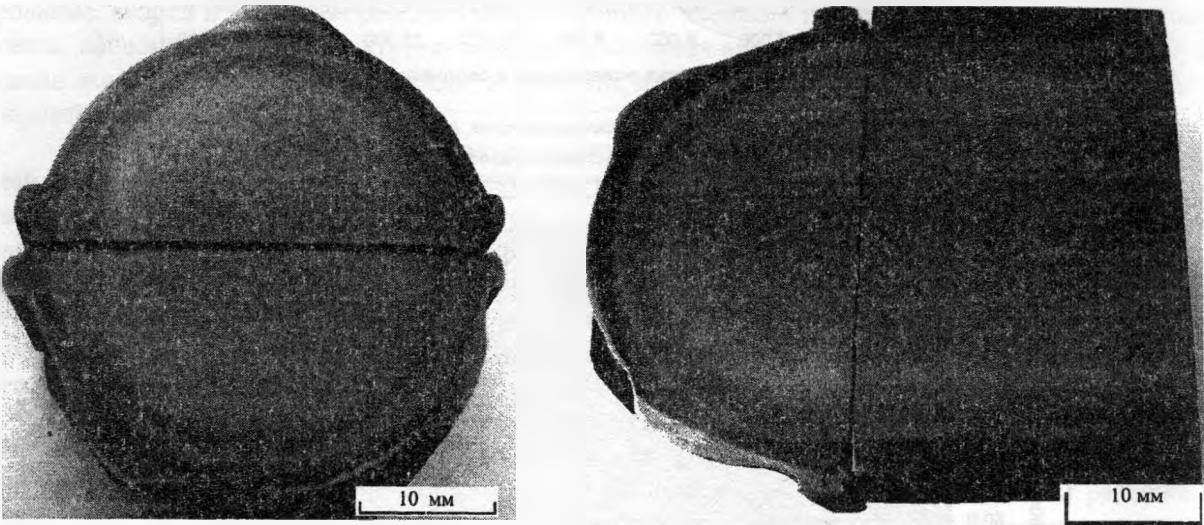
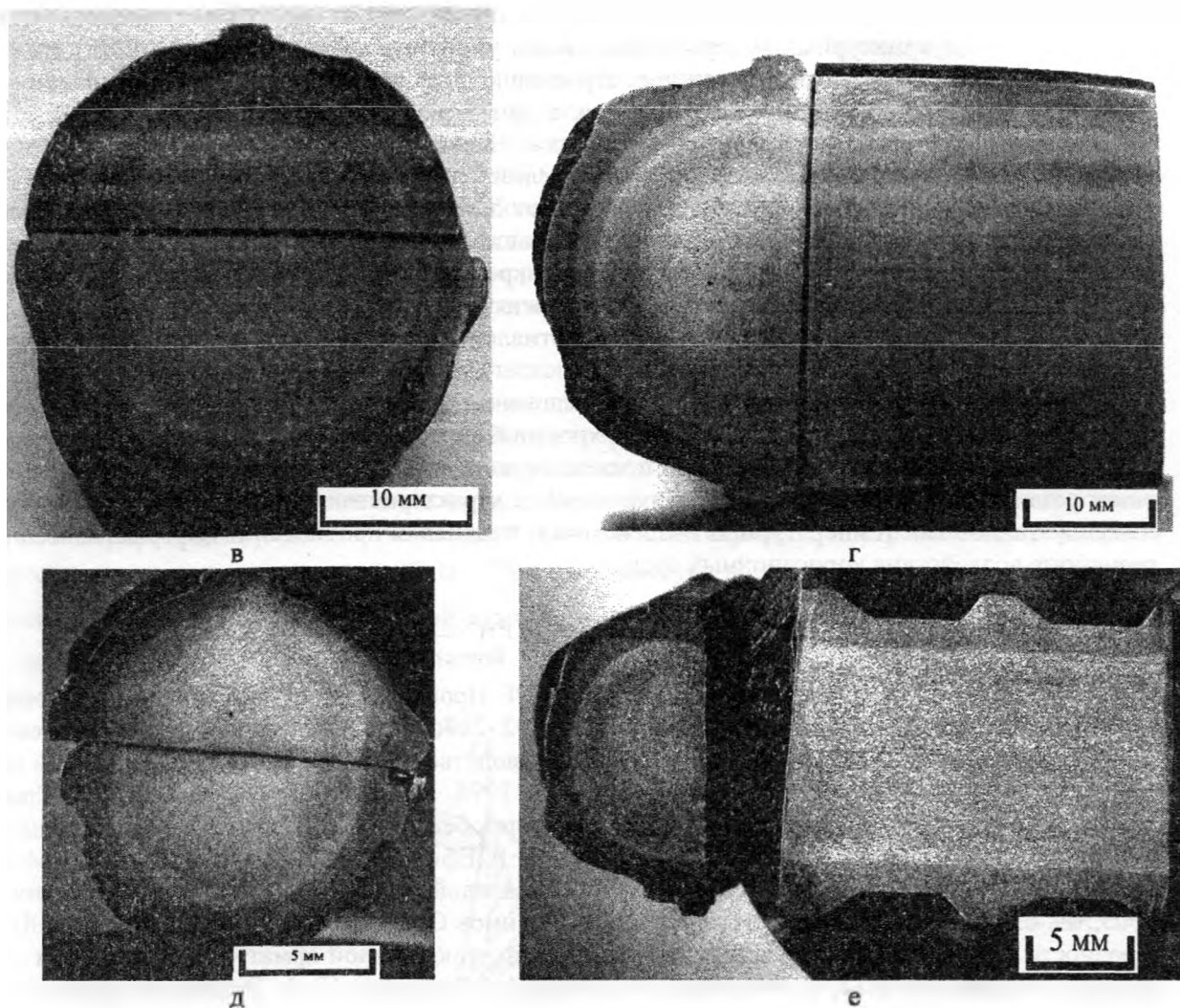


Рис. 2. Макроструктура арматуры: а, б – Ø32мм; в, г – Ø25мм; д, е – Ø12мм



Окончание рис. 2

Исследования макроструктуры поперечных и продольных сечений арматурных стержней показали, что в сечениях в процессе металлургической обработки формируется слоистый структурный (градиентный) состав. Приповерхностный слой состоит из продуктов отпуска мартенсита, промежуточные слои - из отпуска бейнита и феррита; срединный слой содержит вырожденный перлит и феррит с включениями видманштеттового феррита при больших диаметрах стержней. Толщины приповерхностного и промежуточных слоев меньше изменяются с ростом диаметра стержня, чем осевого слоя. Измерения микротвердости в поперечных и продольных сечениях подтверждают наличие слоистого строения у исследованных арматурных стержней. Эта закономерность подтверждается и микроструктурой различных участков арматурных стержней. На шлифах из проката арматурного и термомеханически упрочненного по ТУ РБ 04778771.001-97 производства РУП БМЗ можно выделить до пяти различных по механическим свойствам соосно расположенных слоев. На шлифах из стали горячекатанной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82 производства ОАО Челябинский МК число соосно расположенных слоев такое же. Разброс величин микротвердости (временного сопротивления) для различных слоев термомеханически упрочненного проката колеблется в пределах 130...275(440...930МПа), а для горячекатанной арматуры соответствующий интервал составляет 160...245(540...830МПа).

Выводы:

1. Прокат арматурный и термомеханически упрочненный по ТУ РБ 04778771.001-91 производства РУП БМЗ имеет слоистое строение с 5-ю соосно расположенными слоями имеющими различные механические свойства, а арматурный стержень можно рассматривать как композитный стержень со слоистой структурой. Число соосно расположенных слоев в прокате из стали горячекатанной для армирования железобетонных конструкций по ГОСТ 5781-82 производства ОАО Челябинский МК не превышает 5, но различия в значениях механических характеристик для этого проката существенно меньше, чем для проката термомеханически упрочненного производства РУП БМЗ. Величины микротвердости слоев, измеренные в поперечных и продольных сечениях одного и того же стержня, отличаются между собой.

2. Соотношения между временным сопротивлением слоев можно принимать в соответствии с таблицей 2.

3. При проектировании изделий из исследованных арматурных стержней, у которых более прочные слои располагаются в приповерхностной зоне, и расчетах элементов конструкций с их использованием следует учитывать повышенную чувствительность таких стержней к надрезам различной природы, изменения механических характеристик слоев при технологических и эксплуатационных температурных воздействиях, изменения прочности и деформативности в результате воздействия коррозионных сред.

ЛИТЕРАТУРА

1. Натапов А.С., Левченко Л.Н., Баскин С.Л. Производство эффективных арматурных профилей для железобетона.-М.:Металлургия,1992.-208с. 2. Айзатулов Р.С., Черненко В.Т.,Мадатян С.А. и др. Освоение массового производства арматурной стали повышенной надежности класса А400С для железобетона// Сталь. 1998. №6. С.53-58. 3.Мадатян С.А. Сталь класса А500С для нового поколения арматуры железобетонных конструкций// Национальная металлургия.-2002, №4. 4.Юрьев А.Б., Чинокалов В.Я.,Ефимов О.Ю.,Мыскова Н.В., Прокофьева О.С. Структура термически упрочненной стержневой арматуры// Технология металлов.-2005,№9.-с.5-7. 5. Чинокалов В.Я., Юрьев А.Б., Ефимов О.Ю.,Михаленко И.А., Мыскова Н.В. Прочность структурных слоев в сечении термически упрочненной арматуры// Технология металлов.-2005,№10.-с.15-18. 6. Микрюков В.П.,Юрьев А.Б.,Иванов Ю.Ф. Эволюция структурно-фазовых состояний арматуры в процессе эксплуатации//Известия высших учебных заведений Черная металлургия. 2006.№12.С.22-23. 7.Термическое упрочнение проката/ Стародубов К.Ф.,Узлов И.Г., Савенков В.Я.и др..-М.: Металлургия, 1970.-368с. 8. Фридман Я.Б. Механические свойства металлов. Ч.2. Механические испытания. Конструкционная прочность.-М.:Машиностроение,1974.-368с.

УДК 621.81:539.4

Чигарев А.В., Шукевич Т.В., Ручан М.В.

МЕТОД МОДЕЛИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА КАБИНЫ В УПРУГО-ПЛАСТИЧНОЙ ПОСТАНОВКЕ ПОСРЕДСТВОМ КЭ ПАКЕТА ANSYS

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Методы моделирования позволяют ускорить процесс разработки различных конструкций, в том числе и кабин, а также значительно снизить затраты на испытание и доводку конструкции опытного образца. Конструкции кабин должны соответствовать требованиям, предъявляемым к прочности, надежности конструкции и безопасности водителя. Целью моделирования является расчет и прогнозирование характеристик деформирования при виртуальных испытаниях. Наиболее эффективным и широко используемым средством достижения поставленной

цели является применение метода конечных элементов. Данный метод позволяет в короткие сроки оценить характеристики разных вариантов конструкции и выбрать наилучшую. В статье рассмотрен метод моделирования и прочностного расчета кабины лесной машины «Беларус» 1221МЛХ при виртуальных испытаниях, изготавливаемой на РУП «Минский тракторный завод» на базе тракторной кабины трактора «Беларус» 1221.

В конечно-элементном пакете ANSYS, который решает задачи как статического, так и динамического анализа, можно задавать большое число различных нелинейностей. Известно, в конструкционных материалах при напряжениях, превышающих предел текучести, деформации после снятия нагрузки остаются. Наиболее распространенным видом расчета, при котором учитывается нелинейное поведение материала, является рассматриваемый далее упруго-пластический анализ.

Для полноценного учета пластического поведения материала при анализе требуется знание трех важных критериев: начального условия течения, закона течения и закона упрочнения. Условие начала течения позволяет свести трехмерное, объемное напряженное состояние к эквивалентному напряжению, которое сравнивается с пределом текучести, для того чтобы определить, происходит ли течение материала. Условию текучести может быть дана геометрическая интерпретация в виде так называемой поверхности текучести, построенной в трехмерном пространстве главных напряжений σ_i . При этом следует рассматривать, что данная поверхность ортогональна пространственной диагонали $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$, одинаково наклоненной к осям главных напряжений и проходящей через нормальную (девиаторную) плоскость $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$ (рис. 1).

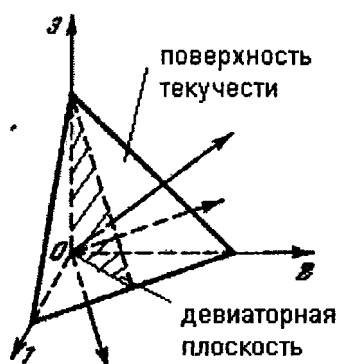


Рис.1. Поверхность текучести

Закон течения указывает направление, в котором происходит деформирование материала. Закон упрочнения, применимый к упрочняющимся материалам, описывает, как ведет себя поверхность текучести с ростом деформаций. Условие текучести записывается в виде:

$$\phi = \sigma_{eq} - \sigma_y$$

Здесь σ_{eq} — скаляр, эквивалентное напряжение, вычисленное по компонентам тензора напряжений; σ_y — справочная величина, предел текучести. Если наступление текучести не зависит от скорости деформаций, то при $\phi < 0$ материал остается упругим, при $\phi = 0$ в нем начинают возникать пластические деформации.

Закон упрочнения определяет поведение поверхности текучести при пластических деформациях материала. Для упрочняющихся материалов чередование нагрузки и разгрузки приводит к тому, что материал переходит в состояние текучести только в том случае, если нагрузка превышает достигнутый прежде уровень. В программе ANSYS используются два вида упрочнения: изотропное и кинематическое. При изотропном упрочнении поверхность текучести расширяется равномерно по всем направлениям; кроме того, предполагается, что пределы текучести на растяжение и на сжатие за счет упрочнения увеличиваются одинаково. При кинема-

тическом упрочнении увеличение предела текучести на растяжение сопровождается соответствующим уменьшением предела текучести на сжатие.

Для исследуемой задачи применена модель линейного изотропного упрочнения. При изотропном упрочнении поверхность текучести расширяется равномерно по всем направлениям; кроме того, предполагается, что пределы текучести на растяжение и на сжатие за счет упрочнения увеличиваются одинаково. Данная модель относится к обычным, широко применяемым металлическим материалам с линейным упрочнением. Используется для изотропных материалов и при значительных деформациях. Модель материала Isotropic Hardening Plasticity Mises Plasticity Bilinear задается диаграммой деформирования через величины предела текучести и угол наклона участка упрочнения кривой деформирования, σ_y - предел текучести (точка T), 250 МПа, E_k - касательный модуль, $E_k = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$, по физическому смыслу $E_k = \operatorname{tg} \beta_k$, где β_k - угол наклона касательной кривой деформирования к оси абсцисс (рис. 2). Модуль Юнга для материала ст20 $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, коэффициент Пуассона $\mu = 0.23$.

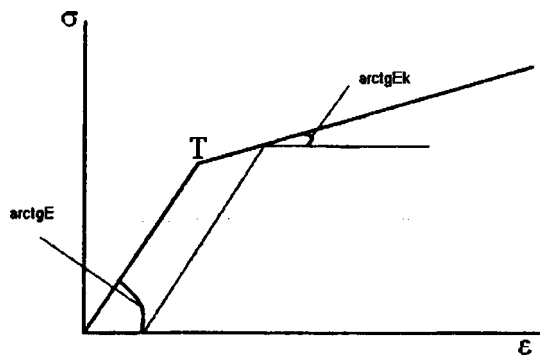


Рис. 2.

Кабина представляет собой сложную пространственную конструкцию. С целью уменьшения времени расчета и повышения эффективности была использована стержневая модель (рис. 3, а), для которой задавались балочные элементы с необходимыми сечениями (рис. 3, б), тип элемента BEAM188 - трехмерный балочный элемент, имеющий шесть степеней свободы в каждом узле. Для моделирования демпферов, необходимых для гашения вредных колебаний, на передних опорах 3-4 (рис. 3, а) использовался тип конечного элемента COMBIN40 - комбинация пружины - скользящего контакта и демпфера в параллельном зазоре, связанных последовательно. Для задних опор 1-2 (рис. 3, а) задается жесткая заделка.

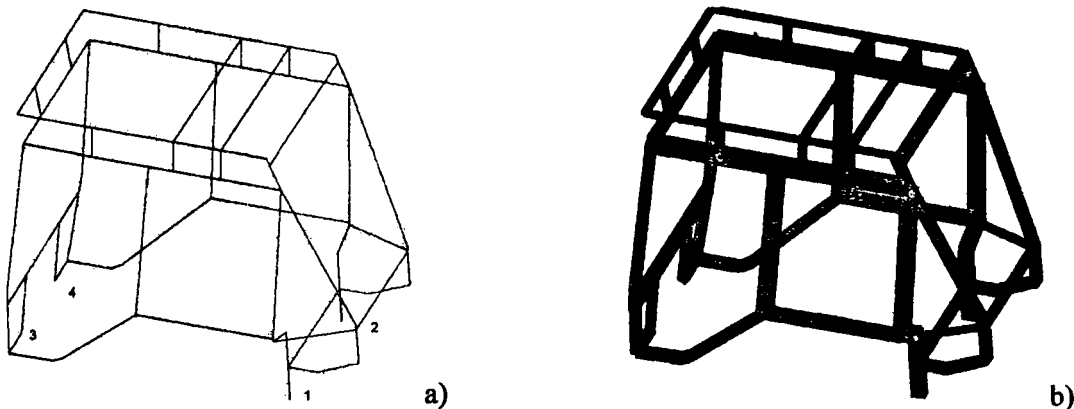


Рис. 3. а – стержневая модель, б – конечно-элементная модель

Основным документом, регламентирующим требования к прочности кабин, является СТБ ИСО 8082-2004. В нем указывается, что в кабине транспортного средства должно сохраняться жизненное пространство после воздействия на нее статической нагрузки. Расчетом предусматриваются следующие виды нагружения кабины:

- ✓ приложение горизонтальной нагрузки P_r сбоку;
- ✓ приложение вертикальной нагрузки P_v .

Нагрузки равномерно распределяются по несущим элементам конструкции кабины и приложены последовательно, то есть вертикальное нагружение осуществляется с учетом остаточных деформаций и напряжений после боковой нагрузки. Для кабины лесной машины «Беларус» 1221МЛХ вертикальная статическая нагрузка составляет $P_v = 180000$ Н (рис. 4, а), горизонтальная статическая нагрузка $P_r = 53000$ Н (рис. 4, б).

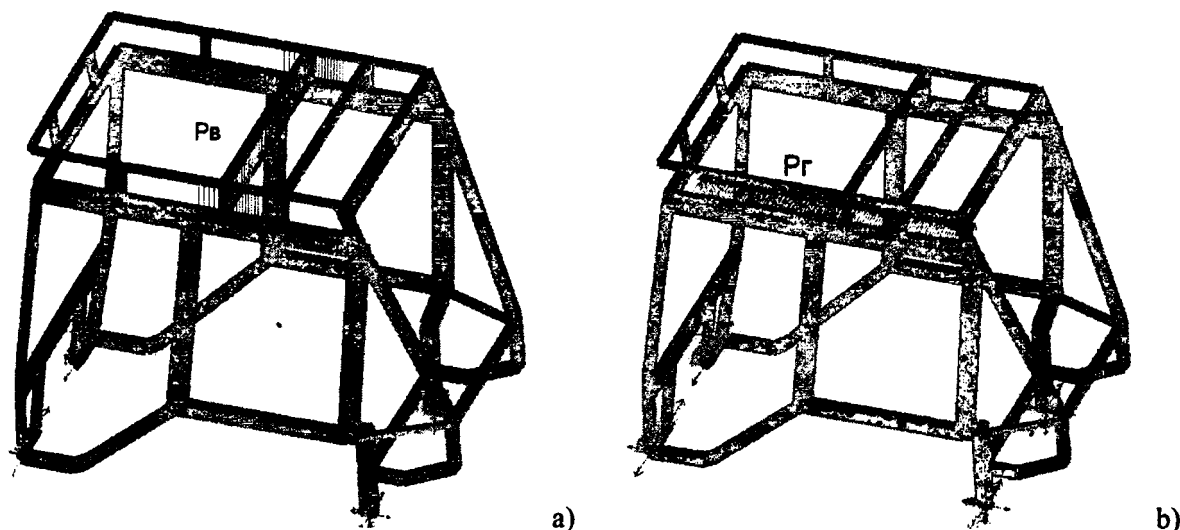


Рис. 4. а – вертикальное нагружение, б – боковое нагружение

Результаты расчета показаны на рисунках 5-6. Как видно из рисунков, максимальное напряжение в балочных элементах кабины составляет 650 МПа в местах опор конструкции, что означает их разрушение, присутствуют пластические деформации. Максимальные перемещения узлов модели кабины составляют 27 см, что совпадает с полученными значениями при натурных испытаниях и ведет к недопустимому уменьшению жизненного пространства. Однако, используя метод стержневого моделирования, в короткие сроки была проведена доработка кабины, произведен повторный расчет, результаты которого показали полное соответствие кабины всем условиям прочности и надежности конструкции.

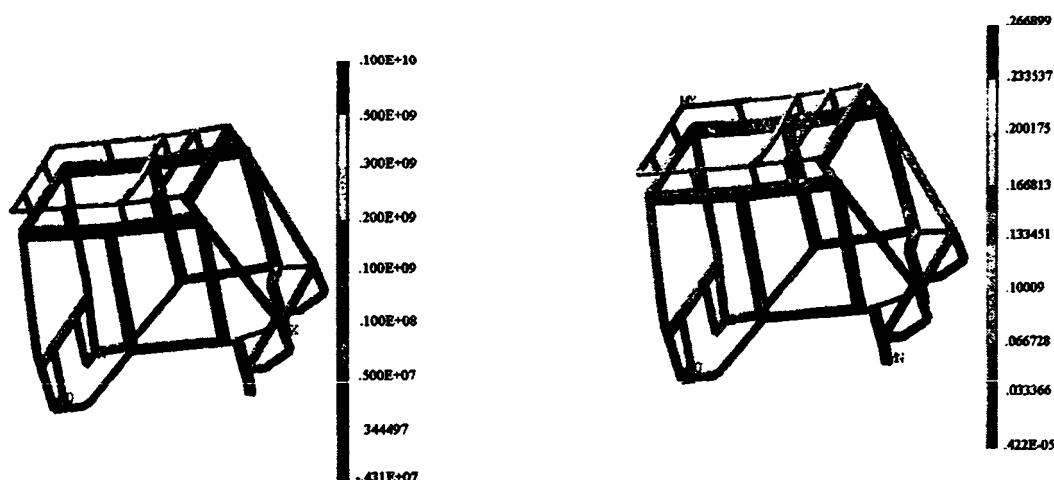


Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, Па

Рис. 6. Суммарные перемещения узлов, м

Закключение

Таким образом, метод стержневого моделирования кабин с применением балочных элементов в пакете ANSYS позволяет в короткие сроки точно и эффективно рассчитать характеристики деформирования конструкции с учетом остаточных деформаций и напряжений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Чигарев, А.В. ANSYS для инженеров/ А.В.Чигарев, А.С.Кравчук, А.Ф.Смалюк.—М.: Машиностроение, 2004. 2. Ратнер, Г.Л. Особенности расчета металлоконструкции кабины/ Г.Л.Ратнер, Л.А. Гоберман, А.М.Пугачевская// ВНИИстройдормаш. Исследование землеройно-транспортных машин/ Труды института, 1976. — Вып. 72.—С.10—15.

УДК 539

Дикан Ж. Г., Ларченков Л. В.

МЕХАНИКА КОМПОЗИЦИОННЫХ СТРУКТУР

Как наука механика композиционных структур (материалов) зародилась сравнительно недавно, хотя идея использования комбинаций структурных элементов металлов, керамики, стекла, полимеров и т.д. для получения структур с уникальными свойствами известна давно. Сама природа использовала принцип такой комбинации, например, костей (хрупкая структура апатит - минерал из группы фосфорнокислых соединений кальция, содержащий переменное количество фтора и хлора, - связанный прочным мягким белковым веществом) и древесины (волокна целлюлозы, обеспечивающие механическую прочность и эластичность растительных тканей, связанные лигнином, обеспечивающим одревеснение клеток целлюлозы, увеличивая их прочность). В настоящее время широко применяются следующие структуры: железобетон, прозрачный бетон, стеклопластик, биметаллы, графито- и борэпоксиды.

Важным преимуществом композиционной структуры является её высокая прочность на единицу массы. При этом по своим прочностным и тепловым качествам многие композиционные структуры превосходят любой из своих структурных элементов или резко отличаются от него.

Наряду с многими технически важными преимуществами композиционные структуры обладают также существенными недостатками, которые связаны с тем, что физико-механические и химические свойства компонентов структур зачастую оказываются совершенно не согласованными, а это приводит к специфическим видам разрушения (расслоение, местные разрывы, когезии и т.п.). В связи с этим, при создании математических моделей различных структур эти особенности порождают большие трудности, которые к сожалению остаются ещё в значительной мере неизученными.

Композиционную структуру можно рассматривать как неоднородную среду. К таким структурам относятся поликристаллические среды и многоэлементные стохастические смеси (когда все структурные элементы смеси равноправны), а также матричные смеси (когда в композиционной структуре выделяется матрица, а все остальные компоненты считаются включениями). Сюда можно отнести и однородные структуры с пустотами (последние трактуются как включения с равными нулю модулями упругости). Выбор метода описания такой неоднородной среды зависит от формы и взаимного расположения структурных элементов. Очень часто в пространственном распределении неоднородностей имеется определённый порядок, и тогда говорят о регулярных структурах; если имеются небольшие нарушения этого порядка, то структуры называют квазирегулярными. Каждый из структурных элементов неоднородной структуры может обладать различными механическими характеристиками: упругими, вязкоупругими, пластическими и другими. Описание таких неоднородных структур связано с большими математическими трудностями.

До недавнего времени основное содержание работ по механике композиционных структур состояло в сведении задачи неоднородной (чаще всего изотропной) теории упругости к задаче однородной анизотропной теории. Это достигалось введением так называемых эффективных модулей, которые либо вычислялись различными методами (стахостическими или детерминированными), либо определялись экспериментально как средние модули структуры в целом [1, 2, 3, 4].

1.1. Композиционные структуры

Композиционные структуры - это металлические или неметаллические матрицы (основы) с заданным расположением в них упрочнителей (волокон, дисперсных частиц и др.), при этом эффективно используются индивидуальные свойства структурных элементов композиции.

По характеру композиционные структуры подразделяются на:

- волокнистые, упрочнённые непрерывными волокнами и нитевидными кристаллами;
- дисперсноупрочнённые структуры, полученные путем введения в металлическую матрицу дисперсных частиц упрочнителей;
- слоистые структуры, созданные путём прессования, прокатки или сварки взрывом разнородных материалов.

Структуру следует понимать как строение какого-либо материала с определёнными устойчивыми взаимосвязями, его составляющих структурных элементов, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств при различных внешних и внутренних изменениях [5,6,7].

По характеру структуры (в нашем понимании, например, сплав в твёрдом или жидком состоянии) строение металла можно наблюдать невооружённым глазом или при небольшом увеличении.

Различают макро- и микроструктуру материалов. В разрезе металлического образца можно наблюдать присутствие и распределение в его объёме раковин, пор, неметаллических включений, дефектов, а также расположение и форму крупных зёрен.

Комбинируя в расплавах объёмное содержание компонентов, можно, в зависимости от назначения, получать структуры с требуемыми значениями прочности, жаропрочности, модуля упругости, абразивной стойкости, а также создавать композиции с необходимыми магнитными, диэлектрическими, радиопоглощающими и другими специальными свойствами.

Волокнистые композиционные структуры, армированные нитевидными кристаллами и непрерывными волокнами тугоплавких соединений и структурных элементов (SiC , Al_2O_3 , бор, углерод др.), являются новым классом материалов.

1.2. Виды и применение композиционных структур

Принципы упрочнения известны в технике с глубокой древности. Ещё в Вавилоне использовали тростник для армирования глины при постройке жилищ, а в Древней Греции железными прутьями укрепляли мраморные колонны при постройке дворцов и храмов. В 1555 - 1560 годах при постройке Храма Василия Блаженного в Москве русские зодчие Барма и Постник использовали армированные железными полосами каменные плиты. Прообразом двойных композиционных структур является широко известный железобетон, представляющий собой сочетание бетона, работающего на сжатие, и стальной арматуры, работающей на растяжение, а также полученные в 19 веке прокаткой слоистые материалы. Армирование можно производить таким методом, как сварка взрывом, соединяющим различные по прочностным свойствам структуры по всей площади отдельных элементов независимо от их механических характеристик.

Развитию современных композиционных структур содействовали: разработка и применение в конструкциях волокнистых стеклопластиков, обладающих высокой удельной прочностью (1940 - 1950 годы); открытие весьма высокой прочности, приближающейся к теоретически возможной, нитевидных кристаллов и доказательства возможности использования их для упрочнения металлических и неметаллических структур (1950 - 1960 годы); разработка новых армированных материалов - высокопрочных и высокомодульных непрерывных волокон бора, углерода, карбида кремния (SiC), алюминия (Al_4C_3) и волокон других неорганических тугоплавких соединений, а также упрочнителей на основе металлов (1960 - 1970 годы).

В технике широкое распространение получили волокнистые композиционные структуры, армированные высокопрочными и высокомодульными непрерывными волокнами, в которых армирующие структурные элементы несут основную нагрузку, тогда как матрица передаёт напряжение волокнам.

Волокнистые композиционные структуры анизотропные. Механические свойства их представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства волокнистых композиционных структур с непрерывными волокнами

Матрица	Упрочнитель (волокно)		Плотность, кг/м ²	Предел прочности, Гн/м ²	Удельн. прочность, кн-м/кг	Модуль упругости, Гн/м ²	Удельн. модуль упруг., Мн/м ²
	Материал	% (по объёму)					
Никель	Вольфрам	40	12500	0,8	64	265	21,2
	Молибден	50	9300	0,7	75	235	25,25
Титан	Карбонат кремн.	25	4000	0,9	227	210	52
Алюминий	Борное волокн	45	2600	1,1	420	240	100
	Сталь, проволока	25	4200	1,2	280	105	23,4
Магний	Борное волокн	40	2000	1,0	500	220	110
Полимерн	Углеродное воло	50	1600	1,18	737	168	105
связующее	Борное волокн	60	1900	1,4	736	260	136,8

Диаметр непрерывных волокон углерода, бора, а также тугоплавких соединений (В₄С, SiC и др.) обычно составляет 100 - 15- мкм.

Волокнистые композиционные структуры, в отличие от монолитных сплавов, обладают высокой усталостной прочностью σ_{-1} . Так, например, σ_{-1} (база 10⁷ циклов) алюминиевых сплавов составляет 130 - 150 Мн/м² (13 - 15 кгс/мм² или 130 - 150 МПа), в то время как у армированного борным волокном алюминиевой композиционной структуры σ_{-1} около 500 Мн/м² (500 МПа) при той же базе. Предел прочности σ_b и модуль упругости Е композиционной структуры на основе алюминия, армированного борным волокном, примерно в 2 раза больше, чем у алюминиевых сплавов В-95 и АК4-1.

Механические свойства композиционных структур определяются не только свойствами самих волокон (таблица 2), но и их ориентацией, объёмным содержанием, способностью матрицы передавать волокнам приложенную нагрузку и другими.

Таблица 2 – Свойства нитевидных кристаллов и непрерывных волокон

Упрочнитель	Температура плавления, °С	Плотность, кг / м ³	Предел прочности Гн / м ²	Удельная прочность, Мн - м / кг	Модуль упругости, Гн / м ²	Удельный модуль упругости, Мн - м / кг
Не пр е р ы в н ы е в о л о к н а						
Al ₂ O ₃	2050	3960	2,1	0,53	450	113
В	2170	2630	3,5	1,33	420	160
С	3650	1700	2,5	1,47	250-400	147-235
В ₄ С	2450	2360	2,3	0,98	490	208
SiC	2650	3900	2,5	0,64	480	123
W	3400	19400	4,2	0,22	410	21
Mo	2620	10200	2,2	0,21	360	35
Be	1285	1850	1,5	0,81	240	130
Н и т е в и д н ы е к р и с т а л л ы						
Al ₂ O ₃	2050	3960	28	7,1	500	126
AlN	2400	3300	15	4,55	380	115
В ₄ С	2450	2520	14	5,55	480	190
SiC	2650	3210	27	8,4	580	180
Si ₃ N ₄	1900	3180	15	4,72	495	155
С	3650	1700	21	12,35	700	410

Примечание: — максимальные значения

Важнейшими технологическими методами изготовления композиционных структур материалов) являются:

- пропитка армированных волокон матричным материалом;
- формирование в просфоре лент упрочнителя и матрицы, получаемых намоткой;
- холодное прессование обоих компонентов с последующим спеканием;
- электрохимическое нанесение покрытий на волокна с последующим прессованием;
- осаждение матрицы плазменным напылением на упрочнитель с последующим обжатием;
- пакетная диффузионная сварка многослойных лент структурных элементов;
- совместная прокатка армирующих элементов с матрицей и др.

В узлах конструкций, требующих наибольшего упрочнения, армирующие волокна располагаются по направлению приложенной нагрузки. Цилиндрические тела и другие изделия вращения (например, сосуды высокого давления) армируют волокнами, ориентируя их в продольном и поперечном направлениях.

Увеличение прочности и надёжности в работе цилиндрических корпусов, а также уменьшение их массы достигается внешним армированием узлов конструкций высокопрочными и высокомодульными волокнами, что позволяет повысить в 1,5-2,0 раза удельную конструктивную прочность по сравнению с цельнометаллическими корпусами.

Упрочнение структур волокнами из тугоплавких веществ значительно повышает их жаропрочность. Например, армирование никелевого сплава вольфрамовым волокном (проволокой) позволяет повысить его жаропрочность при 1100°С в два раза.

Весьма перспективны композиционные структуры, армированные нитевидными кристаллами (усаами) керамических, полимерных и других структур. Размеры усов обычно составляют от долей до нескольких микрометров по диаметру и примерно 10-15 мм по длине.

Разрабатываются композиционные структуры со специальными свойствами, например, радиопрозрачные и радиопоглощающие структуры, прозрачные бетоны, пропускающие свет во внутрь помещений, структуры для тепловой защиты космических аппаратов, с малым коэффициентом линейного термического расширения и высоким удельным модулем упругости и другие.

Свойства композиционных структур на основе алюминия и магния (прочность, модуль упругости и длительная прочность) более чем в 2 раза (до 5000С) выше, чем у обычных сплавов.

Композиционные структуры с никелевой и кобальтовой матрицами увеличивают уровень рабочих температур от 1000 до 12000С, а на основе тугоплавких металлов и соединений — до 1500-20000С.

Повышение прочностных и упругих свойств структур позволяет существенно облегчить конструкции, а увеличение рабочих температур этих структур даёт возможность повысить мощность двигателей внутреннего сгорания, тепловых котлов и других агрегатов.

Области применения композиционных структур многочисленны. Начиная с авиационно-космической, ракетной и другой специальной техники, они могут быть успешно применены в энергетическом турбостроении, в автомобильной промышленности (детали двигателей и кузовов автомашин), в машиностроении (корпуса и детали станков, кузнечно-прессовое оборудование), в горнорудной промышленности (буровой инструмент, буровые машины), в металлургической промышленности (огнеупорные материалы для футеровки печей, кожуха и другая арматура печей, наконечники термопар), в строительстве (пролёты мостов, опоры мостовых ферм, панели для высотных сборных сооружений), в химической промышленности (автоклавы, дистилеры, аппараты для кислот, ёмкости для перевозки нефтепродуктов и кислот), в текстильной промышленности (детали прядильных машин, ткацких станков), в сельскохозяйственном машиностроении (лемеха, отвалы плугов, сошники сеялок, лапы культиваторов, пружинные стойки для тяжёлых условий работы), в бытовой технике (детали стиральных машин и холодильников, рамы спортивных велосипедов, мотоциклов и автомобилей, детали радиоаппаратуры).

Спрос на композиционные структуры ежегодно возрастает, что требует создания новых методов изготовления деталей и изменения принципов конструирования техники [8,9].

1.3. Строение двойных металлических систем

В самых первых исследованиях систем Fe — C (железо—углерод) было установлено, что в диаграмме состояния железо-углеродистых сплавов в качестве богатой углеродом составляющей может присутствовать графит или химическое соединение Fe_3C (6,67C). Это соединение известно под названием “цементит”, который присутствует в структуре даже медленно охлаждённых сплавов, и разложение его на железо и графит требуется длительная выдержка при повышенных температурах. В диаграмме состояния (о которых пойдёт речь ниже), где составляющая представлена углеродом, присутствует в некотором количестве цементит. Такое состояние сплава даёт право называть диаграмму метастабильного равновесия в отличие от равновесной диаграммы железо-графит.

Существование метастабильной системы “железо-цементит” наряду со стабильной системой “железо-графит” обусловлено возникновением двумерных и трёхмерных зародышей цементита, а также линейной скоростью их роста при определённой температуре для всех составов оказывается существенно большей, чем скорость возникновения и роста соответствующих графитных зародышей. Метастабильная система Fe — Fe_3C объясняется трудностью самодиффузии атомов железа. Диаграмма состояния железо-углеродистого сплава представлена на рис. 1. По горизонтальной линии (линия абсцисс) отложены атомные проценты (в некоторых источниках даются весовые проценты и методика пересчёта их в атомные проценты), а по оси ординат - температура [10].

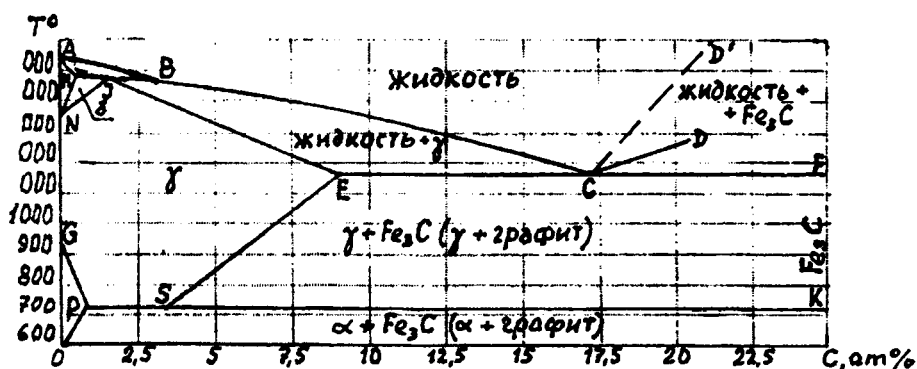


Рис. 1. Диаграмма состояния железо-углеродистого сплава

При современном уровне развития металловедения диаграммы состояния должны представляться в атомных процентах.

Приведенная диаграмма состояния является бинарной или двухкомпонентной системой. В практике системы могут быть трёх-, четырёхкомпонентными.

Двойные системы - это физико-механические системы, состоящие из двух независимых частей (компонентов). Особое практическое значение имеют конденсированные двойниковые системы, то есть не содержащие газов или паров.

Здесь мы представляем лишь простейшие изобарические (при давлении 1 атм) диаграммы состояния двойных систем, в которых существуют только жидкие фазы L и твёрдые S.

О двойниковых системах, состоящих только из жидких фаз или из жидкости и газа (пара), рассказывается в разделе “жидкие смеси”; о двойниковых системах из твёрдых фаз и газа (пара) - в “термодинамической системе”.

Если взаимная растворимость компонентов A и B в жидком и твёрдом состоянии отсутствуют, то диаграмма состояния (рис. 2) изображается двумя горизонтальными прямыми, проведенными через точки T_A и T_B , отвечающие температурам плавления компонентов A и B.

Выше точки T_B система состоит из двух жидких фаз L_A и L_B ; между T_B и T_A — из жидкой L_A и кристаллов B; ниже T_A — из смеси кристаллов A и B.

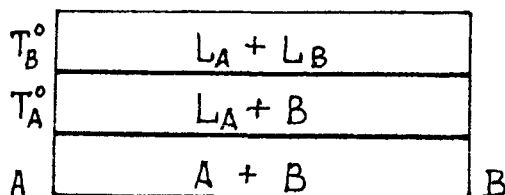


Рис. 2. Система нерастворимых компонентов

Если взаимная растворимость компонентов А и В в жидком состоянии не ограничена, а в твердом состоянии отсутствует, то из одной жидкой фазы L при охлаждении выпадают две твердые фазы - кристаллы А и В (рис. 1). Кривая ликвидуса (геометрическое место температур начала кристаллизации) ABC и CD пересекаются в эвтектической точке С.

Жидкость, состав которой отвечает точке Е, затвердевает при постоянной температуре в тонкую смесь кристаллов А и С. Из жидкостей, состав которых лежит между А и С, при охлаждении начинают выпадать кристаллы γ (графит), вследствие чего содержание В ($\gamma + \text{Fe}_3\text{C}$) в жидкости увеличивается; когда её состав будет отвечать точке С, процесс закончится кристаллизацией эвтектики.

Точно так же происходит затвердевание жидкостей (железо — углерод), состав которых лежит между С и D', начинается выпадением кристаллов Fe_3C и заканчивается кристаллизацией эвтектики. Прямая ECF линией солидуса (геометрическое место температур конца кристаллизации). Температура эвтектической горизонтали ECF — 1147°C для расплава $\gamma \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{C}$ и 17,28 ат %С.

Если взаимная растворимость А и В (в нашем случае А соответствует железу Fe, а В — углероду С) в жидком состоянии не ограничена, а в твердом — ограничена, то в случае образования эвтектики последняя состоит из смеси двух твердых растворов α и Fe_3C , предельные концентрации которых отвечают точкам Е и С при эвтектической температуре и точке S при комнатной [11].

ЛИТЕРАТУРА

1. Овчинников Н.Ф. "Структура и симметрия". Ежегодник. - М. -1969. - 208 с. 2. Блауберг И.В. и др. Становление и сущность системного подхода. - М. - 1973. - 170 с. 3. Аносов В.Я. Основные начала физико-химического анализа. - М. - 1976. - 503 с. 4. Курнаков Н.С. Избранные труды. Металловедение. Т.2. - М.- 1961. - 1961. - 611 с. 5. Гиббс Дж. Термодинамические работы. 6. Дервинг В.П. и др. Правило фаз с изложением основ термодинамики. 7. Туманов А.Т. "Металловедение и термическая обработка металлов", №4.- 1972. - с.24. 8. Современные композиционные материалы. Пер. с англ. - М. - 1970. - 672 с. 9. Юм-Розери В., Рейнор Г.В. Структура металлов и сплавов. Пер. с англ.- М.- 1959. - 391 с. 10. Вол А.Е. Строение и свойства двойных металлических систем. Т.1-2.- М.- 1962. - 982 с. 11. Шоршов М.Х. и др. Волокнистые композиционные материалы с металлической матрицей. - М. - 1981. - 268 с.

УДК 620/178/7:669.14

Хмелёв А.А., Галуза И.М.

О ЕДИНОЙ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ ОБРАЗЦОВ С РАЗЛИЧНОЙ ФОРМОЙ НАДРЕЗОВ ПРИ УДАРНОМ ИЗГИБЕ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Испытания на ударный изгиб применяются с целью измерения сопротивления разрушению конструкционных материалов. Считается, что поведение материала в контрольных образ-

цах соответствует поведению материала у кончика предельно опасной трещины, вследствие чего это имитирует работу материала в наиболее неблагоприятных условиях эксплуатации.

Определяемые при испытаниях значения ударной вязкости, зависящие от температуры испытания, остроты надрезов и размеров образцов, в сочетании с высокой скоростью деформирования при разрушении, настолько усложняют напряжённое и деформированное состояние, что теоретический анализ ударной вязкости до сих пор не осуществлён. Кроме того, само значение ударной вязкости представляет собой лишь значение работы разрушения образца уменьшенное в масштабе на величину площади его сечения в надрезе.

Несмотря на недостаточную ясность прочностной трактовки ударной вязкости, методы её определения широко вошли в стандарты и технические условия на приёмку материалов, контроль готовых изделий, и в исследовании свойств материалов после аварий машин и механизмов.

В данной работе предлагается метод теоретической оценки значения работы разрушения ударных образцов независимо от остроты их надрезов и температуры испытания, исходя из общей энергетической закономерности их разрушения. При этом в качестве исходных данных используются данные сертификатных или послеаварийных исследований наиболее простых в изготовлении и наименее металлоёмких контрольных образцов.

Влияние остроты надреза образца на значение работы его разрушения в зависимости от температуры испытания, уровня предварительной пластической деформации и твёрдости приведены на рис.1 в виде диаграмм хрупковязкого состояния [1], построенных по результатам ударных испытаний образцов из стали 20 с радиусами надрезов в 1 мм, 0,25 мм и с усталостной трещиной (ГОСТ 9454-78 типы: 1, 10 и 15 соответственно).

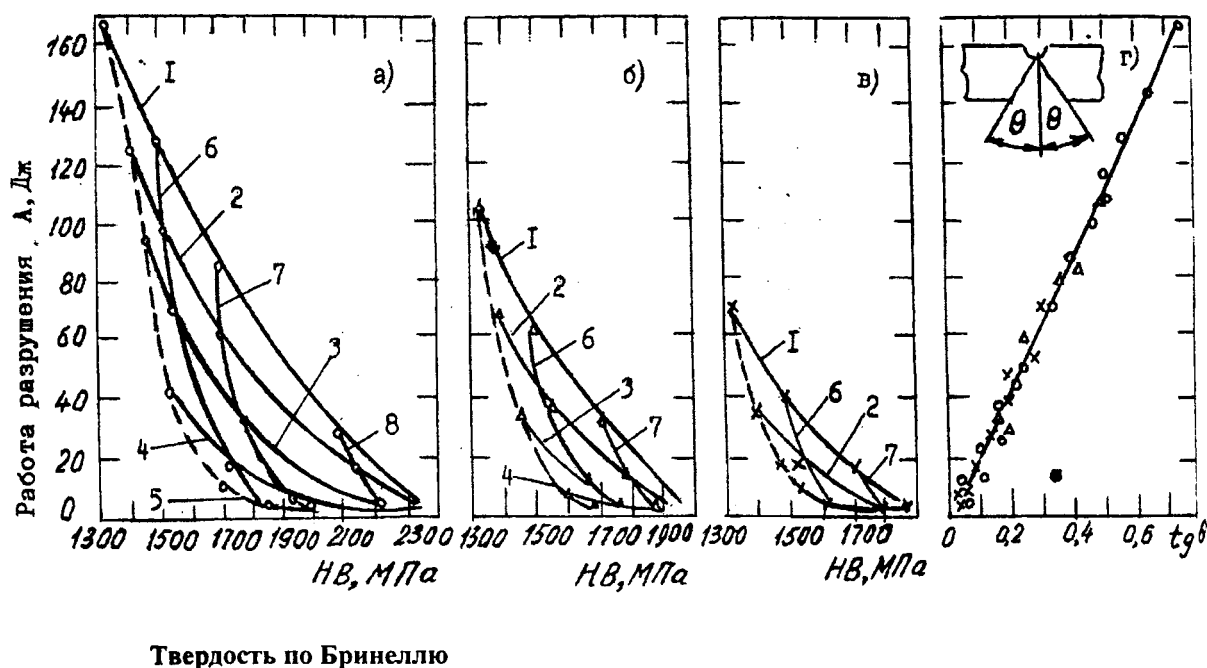


Рис.1. Диаграммы хрупковязкого состояния стали 20 для образцов типов 1 (а), 10 (б) и 15 (в) по ГОСТ 9454-78 и обобщенный вариант этих диаграмм (г); 1-5-температуры испытания соответственно +20; 0; -40; -60°C; 6-8 - уровни предварительной пластической деформации 5, 10% и до начала образования шейки при растяжении соответственно; --- снижение работы разрушения и повышение твёрдости стали в состоянии поставки от снижения температуры.

Практическое применение указанных диаграмм затруднительно из-за сложной взаимосвязи значений работы разрушения с остальными параметрами диаграмм. Поэтому для практического применения более удобным является вариант этих же диаграмм (рис.1,г) в виде зависимости работы разрушения образца, независимо от остроты его надреза, от тангенса угла изгиба образца, измеряемого путем совмещения половинок после его разрушения. Указанный вариант диаграммы позволяет получить аналитическую взаимосвязь между работой разруше-

ния образца, его размерами и стандартными механическими характеристиками материала.

Представим значение работы разрушения образца как сумму упругой и пластической ее составляющих

$$A = A_y + A_{пл}, \quad (1)$$

где $A_{пл}$ - пластическая составляющая общей работы разрушения как сумма работ, затраченных на пластическое деформирование части объема образца, на образование и развитие трещины.

По данным [2], значение $A_{пл}$ можно представить в виде

$$A_{пл} = a_v 4Bh^2 \tan \theta, \quad (2)$$

где a_v - удельная работа пластического деформирования, пластически деформированной части объема образца, являющаяся константой для каждой конкретной плавки стали, и не зависящая от формы, остроты надреза и размеров образца; h - высота сечения образца по надрезу; $\tan \theta$ - угол изгиба образца, определяемый совмещением его половинок после разрушения; B - ширина образца.

Запас упругой энергии представим- в виде

$$A_y = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot V = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot LBH, \quad (3)$$

где $V = LBH$ - объём образца на длине L между опорами копра.

Уравнение (1) с учётом (2) и (3) запишем в виде

$$A_y = \frac{\sigma^2}{2E} \cdot LBH + a_v 4Bh^2 \tan \theta. \quad (4)$$

Обозначив значение высоты образца в сечении по надрезу как долю его высоты вне надреза

$$h = K \cdot H, \quad (5)$$

и разделив уравнение (4) на объём образца, получаем

$$\frac{A}{V} - \frac{\sigma^2}{2E} = a_v \frac{4K^2 H}{L} \tan \theta, \quad (6)$$

Левую часть уравнения (6) обозначим через a_k , как удельную работу пластического деформирования всего объёма образца

$$a_k = \frac{A}{V} - \frac{\sigma^2}{2E}, \quad (7)$$

и введём понятие коэффициента формы образца

$$K_v = \frac{4K^2 H}{L} = \frac{4 \cdot 0,8^2 \cdot 10}{40} = 0,64, \quad (8)$$

и являющимися постоянным числом для исследованной формы надреза образцов.

Тогда уравнение (6) с учётом (7) и (8) получим в виде

$$a_k = 0,64 a_v \tan \theta. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что значение удельной энергии поглощённой разрушаемым образцом фактически зависит от двух величин: удельной работы пластического деформирования a_v , как константы материала, и тангенса угла изгиба образца, имеющего линейную зависимость от поглощённой энергии, рис.1,2.

Из анализа полученных результатов видно, что условие хрупкого или вязкого разрушения целиком обуславливает долей участия в разрушении пластически деформированного объёма образца, зависящего от угла его изгиба при разрушении, $\tan \theta$.

Теоретически значение $\tan \theta$ можно определить из его взаимосвязи с предельной пластичностью стали. Трещина в тонком поверхностном слое надреза образуется тогда, когда максимальное значение деформации в этом слое становится равным истинному относительному удлинению материала при разрыве, связанному с относительным сужением зависимостью

$$\ln \frac{l_x}{l_0} = \ln \frac{1}{1-\psi}, \quad (10)$$

Считая, что нейтральная ось сечения по- надрезу проходит через половину его высоты, из уравнения (10) получаем

$$\tan \theta = \frac{2l_x}{h}, \quad (11)$$

Приняв значение l_0 в уравнении (10), равным радиусу надреза образца $l_0 = r$, с учётом уравнения (11), получим

$$\tan \theta = \frac{2re^{\ln \frac{1}{1-\psi}}}{h}. \quad (12)$$

Анализ полученных результатов показывает, что исследованные стали переходят в хрупкое состояние, когда значение a_v в формулах (6) и (7) становится отрицательным. Что соответствует состоянию, когда запас упругой энергии в единице объёма образца превышает требуемый расход энергии на пластическое деформирование этого объёма.

По значению $\tan \theta$, как хрупкое можно оценивать состояние стали при котором $\tan \theta < 0,1$.

Для решения задачи о переходе конструкции в хрупкое состояние надо вводить в стандарты и технические условия на приемку материалов значения удельной работы пластического деформирования a_v и $\tan \theta$ как сертификатные характеристики.

Применение предлагаемых результатов позволяет теоретически оценивать значения работы разрушения образцов различной формы и с различными концентраторами для оценки вязкости разрушения, и увязать их с поведением материала в конструкции. Это позволяет резко снизить мощность необходимых копров, снизить расходы по изготовлению крупных образцов, позволяя проводить испытания многих материалов на стандартном копре МК-30.

Результаты исследований позволяют сделать важный шаг в направлении получения характеристик разрушения, не зависящих от условий испытания

ЛИТЕРАТУРА

1. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Анализ хрупких разрушений конструкций из углеродистых сталей с помощью диаграмм хрупковязкого состояния // Теоретическая и прикладная механика. Межведомственный сборник научно-методических статей.-Мн.: УП «Технопринт», 2002.-С.181-185.
2. Хмелев А.А., Сидоров В.А. Об удельной работе пластического деформирования стали, как критерии оценки ее качества // Машиностроение.-Вып. 16.-Мн.-2000.-С.260-26

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО ПАКЕТА ANSYS ДЛЯ РАСЧЕТА БОЛТОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Для соединения металлических конструкций помимо сварки применяют болты и заклепки. Проектирование соединений является одной из наиболее ответственных конструктивных задач, так как большинство разрушений происходит именно в таких местах.

Болтовые соединения подвержены воздействию различных нагрузок, возникающих вследствие работы конструкции. Основными видами расчета болтовых соединений являются расчеты на сдвиг при действии статической нагрузки и расчет на нераскрытие стыка. Наравне с аналитическими методами расчета данных соединений широко используется и метод конечных элементов. Данный метод позволяет в короткие сроки оценить характеристики разных вариантов конструкции и выбрать наилучшую. В статье рассмотрен метод моделирования и прочностного расчета опоры ПМ-10-2800 060 при повороте прицепной многофункциональной тележки ПМ-10 с учетом весовой нагрузки.

Описание конструкции. Опора ПМ-10-2800 060 крепится с помощью болтов м16 с неконтролируемой силой затяжки к лонжеронам тележки. Действие нагрузок и трехмерная модель тележки ПМ-10 показано на рисунке 1, где 1 – действие весовой нагрузки манипулятора, 2 – действие поворотного момента. При действии поворотного момента на опору в болтовом соединении выполняется работа на срез, при воздействии весовой нагрузки – работа на растяжение-сжатие.

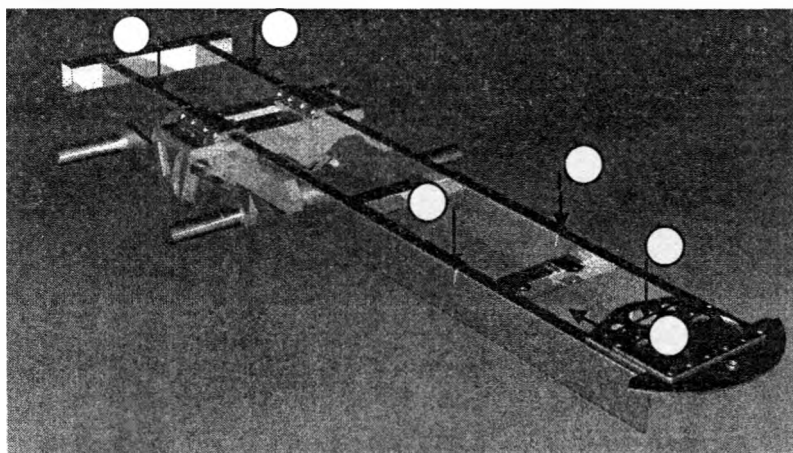


Рис. 1. Схема нагружения тележки

Работа на сдвиг является основным видом работы большинства соединений, причем в разных соединениях она имеет свои особенности. В соединениях на болтах с контролируемой силой затяжки гайки грубой, нормальной и повышенной точности, силы стягивания пакета болтами, а, следовательно, и развивающиеся силы трения между соединяемыми элементами при действии сдвигающих сил на соединение неопределенны и в большинстве случаев недостаточны для полного восприятия этих сдвигающих сил. Работу такого соединения можно разбить на четыре этапа. На 1-м этапе, пока силы трения между соединяемыми элементами не преодолены, сами болты не испытывают сдвигающих усилий и работают только на растяжение, все соединение работает упруго. При увеличении внешней сдвигающей нагрузки силы внутреннего трения оказываются преодоленными и наступает 2-й этап – сдвиг всего соединения на

величину зазора между поверхностью отверстия и стержнем болта. На 3-м этапе сдвигающее усилие в основном передается давлением поверхности отверстия на стержень болта; стержень болта и края отверстия постепенно обминаются; болт изгибается, растягивается, так как головка и гайка препятствуют свободному изгибу стержня. Постепенно плотность соединения расстраивается, силы трения уменьшаются и соединение переходит в 4-й этап работы, характеризующийся его упругопластической работой. Разрушение соединения происходит от среза болта, смятия и выкола одного из соединяемых элементов или отрыва головки болта. Работа эта сильно осложнена неправильностью формы болта и стенки отверстия, поэтому расчет соединения носит условный характер. Различают также работу одноболтового и многоболтового соединения. В многоболтовом соединении эти же неправильности формы болта и отверстия, а также возможные зазоры между болтом и отверстием неизбежно приводят к неравномерной работе отдельных болтов соединения, что учитывают соответствующим назначением коэффициента условий работы соединения.

Аналитический метод расчета болтовых соединений.

Болтовые соединения могут быть нагружены сдвигающими силами и сдвигающими (крутящими) моментами . Поэтому критериями работоспособности болтового соединения являются нераскрытие стыка и несдвигаемость деталей.

- 1. Расчет момента сопротивления стыка

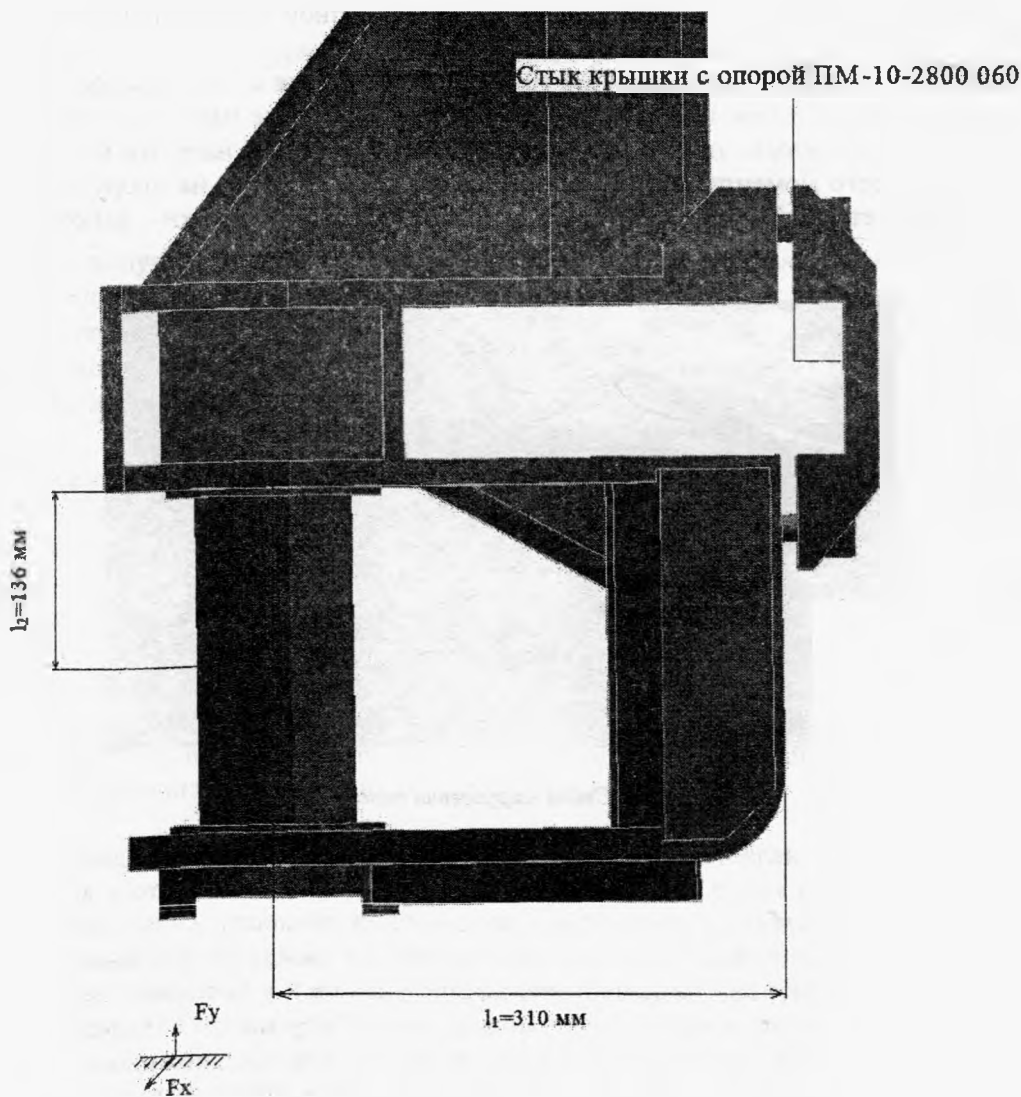


Рис. 2. Схема нагружения опоры.

Данный расчет произведен с учетом действия поворотного момента и весовой нагрузки, которые заменяются на пару сил, прикладываемую к осям опоры на расстоянии $l_3 = 500$ мм по оси z. Величины компонентов $F_x = 15000$ Н $F_y = 50000$ Н-левая ось, и $F_x = -15000$ Н $F_y = 50000$ Н-правая ось.

Для расчета параметров геометрических характеристик стыка необходимо смоделировать и рассчитать поверхность стыка в пакете ANSYS:

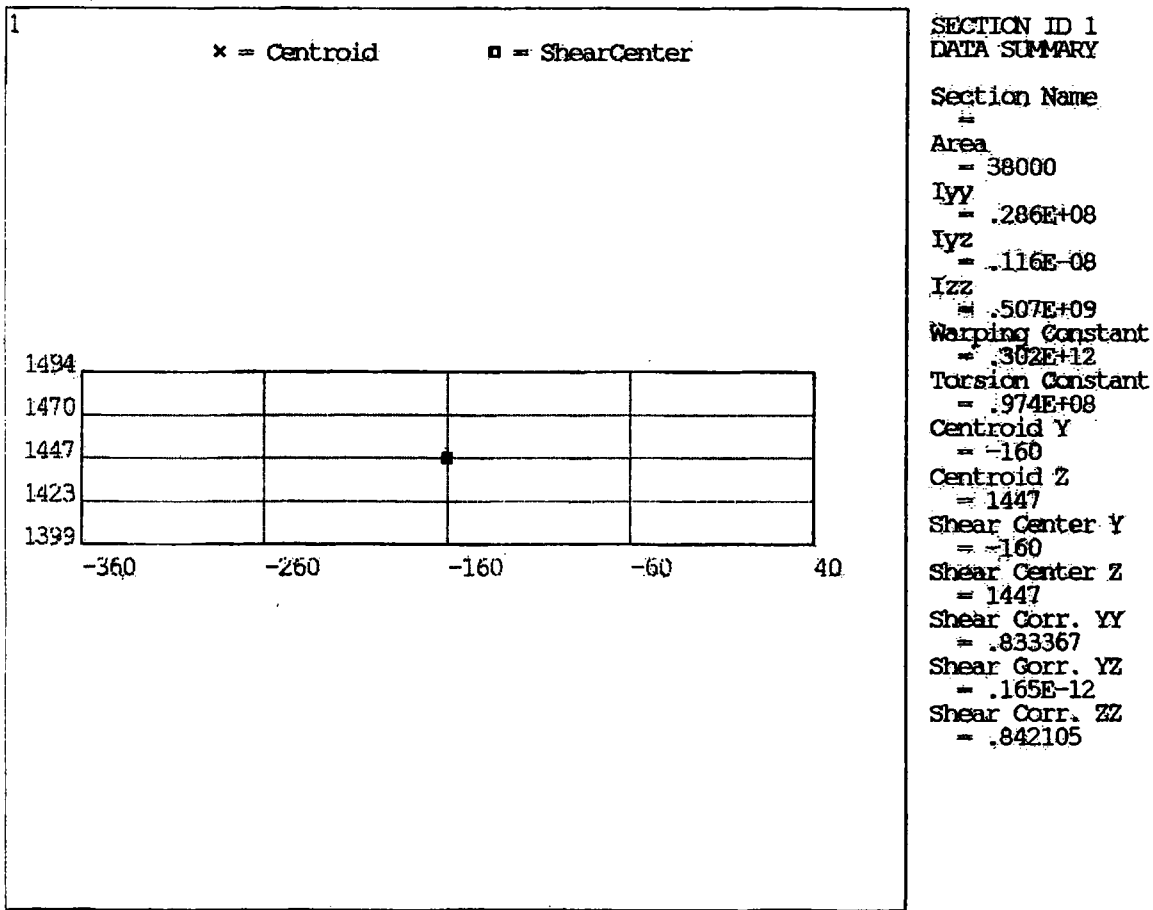


Рис. 3. Геометрические характеристики стыковой поверхности

$$F = 38000 \text{ мм}^2 \quad J_x = 0.286 \cdot 10^8, \quad J_y = 0.507 \cdot 10^8, \quad J_z = J_x + J_y = 0.793 \cdot 10^8$$

$$x_{\max} = 35, \quad y_{\max} = 200, \quad R_{\max} = 203$$

$$W_x = \frac{2 \cdot J_x}{y_{\max}} = 0.11 \cdot 10^6, \quad W_z = \frac{2 \cdot J_z}{R_{\max}} = 3.3 \cdot 10^6, \quad W_y = \frac{2 \cdot J_y}{x_{\max}} = 18.62 \cdot 10^6$$

Внешнии моменты действующие на стык:

$$M_{изг}^z = F_y \cdot l_2 = 50 \cdot 310 = 15500 \text{ кН} \cdot \text{мм}$$

$$M_{изг}^y = F_x \cdot l_2 = 15 \cdot 310 = 4650 \text{ кН} \cdot \text{мм}$$

$$M_{кр} = F_x \cdot l_3 = 15 \cdot 636 = 9540 \text{ кН} \cdot \text{мм}$$

2. Расчет коэффициента запаса по нераскрытию стыка

$\chi = 0,8$ – коэффициент, показывающий, какая часть нагрузки идет на раскрытие стыка

$$\sigma_z = \frac{\chi \cdot M_{изз}^z}{W_z} = \frac{0.8 \cdot 15500000}{3.3 \cdot 10^6} = 3.75 \text{ МПа}$$

$$\sigma_y = \frac{\chi \cdot M_{изз}^y}{W_y} = \frac{0.8 \cdot 4650000}{18.62 \cdot 10^6} = 0.2 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{экв} = \sqrt{\sigma_z^2 + \sigma_y^2} = 3.76 \text{ МПа}$$

Напряжение сжатия, создаваемое в стыке затяжкой болтов:

$$\sigma_{сж} = \frac{Z \cdot M_{зат}}{F \cdot 0,2 \cdot d} = \frac{8 \cdot 160 \cdot 10^3}{2 \cdot 38000 \cdot 0,2 \cdot 16} = 7.9 \text{ МПа.}$$

Коэффициент запаса по нераскрытию стыка:

$$K_s = \frac{\sigma_{сж} - \sigma_{\min}}{\sigma_{экв}} = \frac{7.9 - 1}{3.76} = 1.8 \geq 1.5,$$

где $\sigma_{\min} = 1 \text{ МПа}$ – минимальное напряжение, необходимое для обеспечения герметичности стыка.

3. Расчет коэффициента запаса прочности стыка на сдвиг

Стык рукава задней полуоси с корпусом бортового редуктора:

Сила затяжки болтов:

$$Q_i^{зат} = \frac{M_{зат}}{0.2 \cdot d} = \frac{160 \cdot 10^3}{0.2 \cdot 16} = 50000 \text{ Н.}$$

Сила трения в стыке, создаваемая затяжкой болтов:

$$Q_{тр}^6 = f \cdot \sum_{i=1}^n Q_i^{зат} = 0.18 \cdot 50000 \cdot 8 = 72000 \text{ Н.}$$

Сила трения в стыке:

$$Q_{тр} = Q_{тр}^6 - \sqrt{P_T^2 + R_K^2} = 72000 - \sqrt{15000^2 + 50000^2} = 19798 \text{ Н.}$$

Крутящий момент, который может релизовать стык силами трения:

$$M_{кр}^6 = \frac{Q_{тр} \cdot W_z}{F} = \frac{19798 \cdot 3.3 \cdot 10^6}{38000 \cdot 2} = 1292911 \text{ Н·мм.}$$

Коэффициент запаса прочности на сдвиг:

$$K_s = \frac{M_{кр}^6}{M_{кр}} = \frac{1292911}{9540000} = 0.13 \leq 1.5$$

Таким образом, из аналитического расчета видно, что данное болтовое соединение не соответствует требованиям работы болтов на срез. Однако аналитические методы расчета не

дают полное представление о работе болтовых соединений, так как при данном расчете исследуется лишь граница стыков, и нет возможности оценить картину напряжений по всей площади стыковой поверхности. Для более реальной оценки напряженно – деформируемого состояния конструкции с болтовым соединением был использован метод конечных элементов.

Конечно – элементный метод расчета болтовых соединений.

Конечно – элементный расчет выполнен с помощью инженерного пакета Ansys Workbench 1.0. Результаты расчета представлены на рис. 4-5.

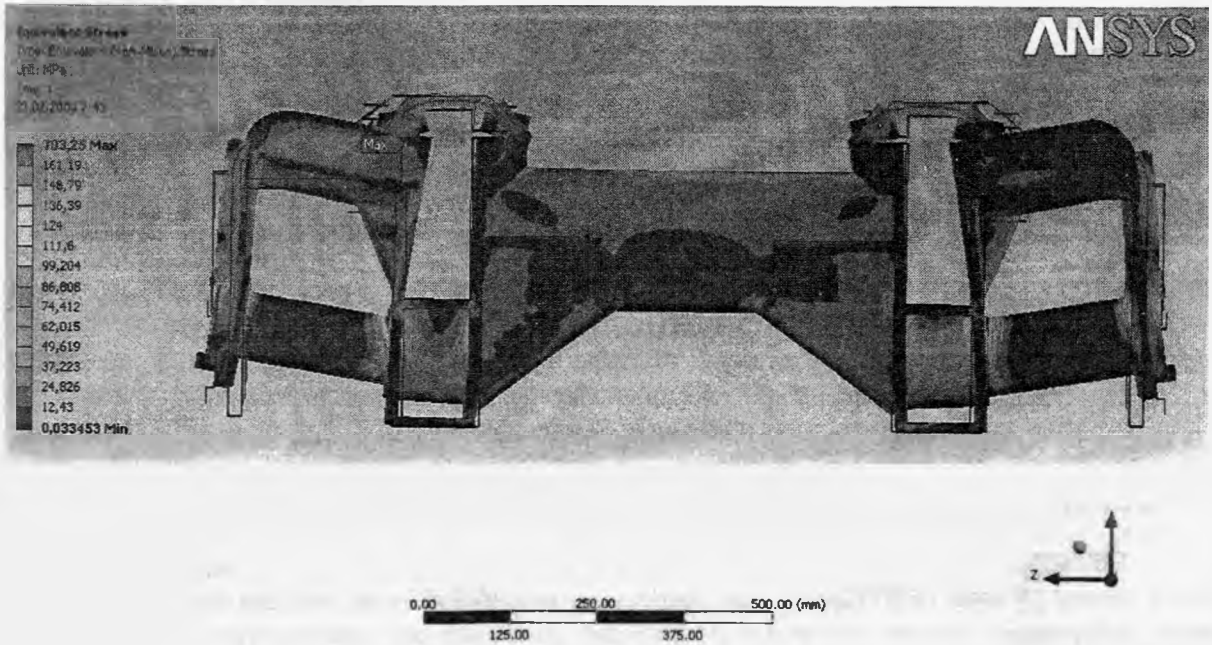


Рис. 4. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, МПа



Рис. 5. Распределение эквивалентных напряжений по Мизесу, МПа

По результатам расчета видно, конструкция в местах болтового соединения имеет напряжения превышающие предел текучести материала ст40х.

Согласно аналитическим методам расчета, величина напряжений в болтовом соедине-

нии зависит от действующих нагрузок и геометрических характеристик болтов. Конструктивным решением для увеличения прочности болтового соединения является добавление втулок в конструкцию, что позволило увеличить диаметр поперечного сечения болтового соединения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Броек Д. Основы механики разрушения.— М: Высш. школа, 1974.— 368 с. 2. Черепанов Г.П. Механика хрупкого разрушения.— М: Наука, 1974. — 640с. 3. Кравчук А.С., Смалюк А.Ф., Чигарев А.В. ANSYS для инженеров.— М.: Машиностроение, 2004.— 510с. 4. Решетов Д.Н. Детали машин. Учебник для ВУЗов. 3-е издание М.: Машиностроение, 1974.

УДК 539.620.171.178-179

Василевич Ю.В., Мойсейчик Е.А., Язневич А.М.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОГРАФИИ ПРИ ДЕФОРМИРОВАНИИ СТАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ С КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ДЕФЕКТАМИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

I. Введение

На тепловые эффекты при деформирования твердых тел пристальное внимание обращается с начала 19 века [1,2]. Э.Эдлундом экспериментально доказано, что при увеличении в процессе деформации объема материала происходит снижение его температуры и наоборот при разгрузке [1]. При этом было установлено, что между изменением температуры и величиной приложенной нагрузки существует квадратичная зависимость. В 1855г. В.Томсон опубликовал свои теоретические идеи по термоупругому деформированию твердых тел и привел линейную зависимость для связи между мгновенными изменениями температуры тела и напряжения. Выводы В.Томсона хорошо подтверждались экспериментами Дж. Джоуля. В начале 20 века в опытах Хорта, Тейлора, Фаррена, Квинни [3] доказывалось, что лишь около 90% всей механической работы деформирования тела превращается в тепло, а другая часть работы накапливается в испытываемом деформационном упрочнении материала. В это же время появляются исследования по применению теплового эффекта при анализе различных видов деформаций стержней [3]. Проф. С.И.Дружинин обосновал возможность определения предела упругости материала по данным измерения температуры растягиваемого стандартного образца с большей чем механическими методами точностью [4]. А.Надан предложил по изменению температуры деформации определять предел текучести [3]. Сдерживающим фактором для более широкого применения эффекта тепловыделения в экспериментальных исследованиях длительное время были трудности экспериментальной фиксации полей температур деформируемого тела. Появление компьютерных методик анализа инфракрасного теплового излучения [5] деформируемого тела позволило практически одновременно, за доли секунды, сканировать температурное поле поверхности деформируемого тела с высокой точностью (0,1 К и меньше). На основе компьютерных методик были созданы высокочувствительные экспериментальные системы исследования полей температур деформируемых тел (с точностью измерений до 0,001К) и напряжений при упругой работе материала [6]. Обобщение основных работ по термоупругости и термопластичности деформируемых тел, выполненных до 1990-х годов, дано в монографии Мэнджойна [7]. Тепловые методы активно используются при исследованиях в области конструкционного материаловедения и неразрушающего контроля [8].

В настоящей статье ставится цель продемонстрировать возможности термографии деформируемых образцов и стальных элементов с конструктивно-технологическими надрезами для выявления их предельного состояния.

II. Теплообразование при растяжении стандартных образцов

Экспериментально установлено [1-4,6-7], что при деформировании растяжением стальных стандартных образцов происходит изменение температуры деформируемого материала. Такое изменение температуры деформируемых объемов образцов из различных марок стали протекает в соответствии со схемой рис.1.

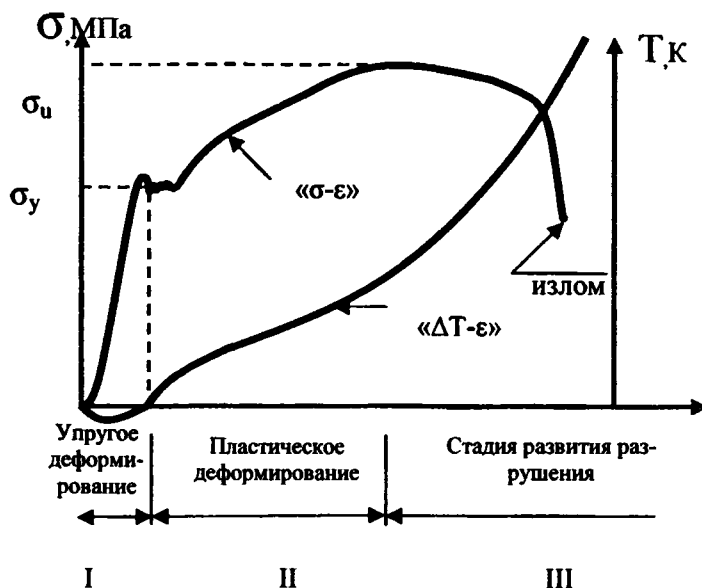


Рис.1. Изменение температуры (ΔT)

Этот процесс можно разделить на три стадии: на I-ой стадии при упругой работе металла происходит понижение его температуры (примерно до градуса при больших объемах деформируемого материала); для второй стадии характерно значительное повышение температуры (средняя температура рабочей зоны повышается на несколько десятков градусов); на последней стадии происходит резкий подъем температуры материала в окрестности излома и последующее его охлаждение. Такой ход изменения температуры деформируемых объемов материала предопределяется изменением в процессе нагружения материала его дислокационной структуры. При увеличении нагрузки на образец идет рост плотности дислокаций в материале, смена механизма и величины деформационного упрочнения. Выделение тепла происходит неравномерно по объему материала.

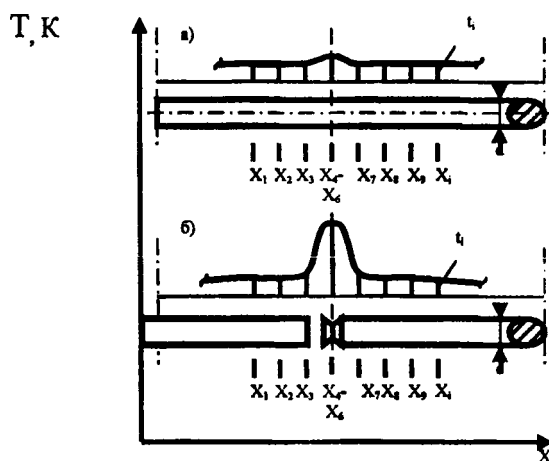


Рис.2. Схемы распределения температуры вдоль оси гладкого (а) и надрезанного (б) образцов

Наиболее разогретыми (источниками тепла) являются зоны скольжения в материале, для которых характерно появление полос Чернова-Людерса. На таких участках активизируются химические процессы в структурных составляющих и на их границах. Так как скорость распространения тепла деформирования превышает скорость развития пластических деформаций по сечению, то еще до появления на поверхности образца полос Чернова-Людерса термограф фиксирует повышение температуры поверхности. При этом процесс протекания пластического деформирования является не одновременным актом[9]. Изменение температуры вдоль оси образца происходит в соответствии со схемой рис.2, а.

III. Тепловыделение при деформировании образцов с дефектами

Схемы цилиндрических образцов - бездефектного (стандартного) и образца с надрезом (дефектного) - приведены на рис. 3.

Теплообразование в надрезанном образце зарождается и протекает в наиболее ослабленных сечениях. Для такого образца также характерна стадийность в развитии процесса тепловыделения. В зоне надреза наблюдаются названные в п.2 стадии образования тепла. При этом тепло, образующееся в надрезе, распространяется вдоль стержня и суммируется с теплом деформирования остальной части стержня. Изменение температуры вдоль оси надрезанного цилиндрического образца при его растяжении протекает по схеме рис.2б. При деформировании листовых образцов с надрезами (отверстия, вырезы и т.д.) по изменению тепловых полей поверхности можно судить о стадийности деформирования и развития разрушения образца, элемента. На термограммах просматривается, что процесс деформирования листового элемента вначале инициируется дефектом. Рост средней температуры у надрезов листовых образцов при одинаковой форме образцов значительно интенсивнее при увеличении толщины листа. При этом до образования видимой трещины у дефекта листового элемента наблюдается небольшой всплеск температуры, после чего образуется видимая трещина и происходит ее дальнейшее развитие. Движение трещины по сечению образца характеризуется значительным локальным повышением температуры перед устьем движущейся трещины. Нагрев металла перед устьем движущейся трещины в несколько раз выше чем в стадии зарождения трещины.

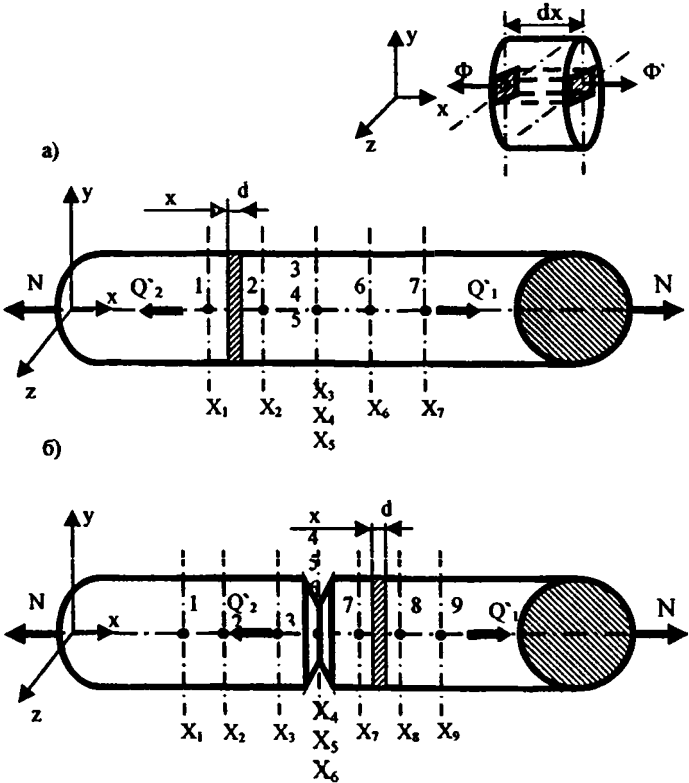


Рис.3. Схемы образцов: стандартного (а) и дефектного (б)

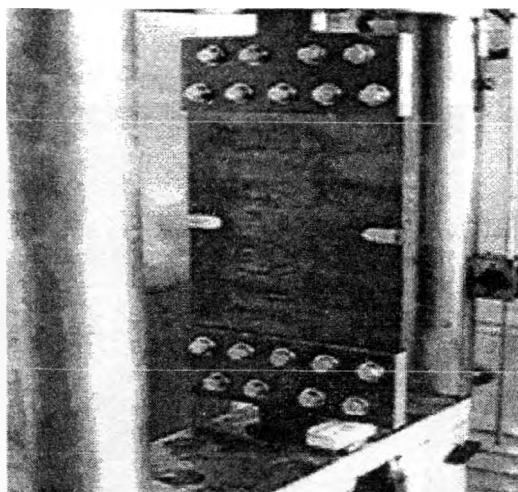


Рис.4. Общий вид листового образца, подготовленного к испытанию



Рис.5. Изменение максимальной температуры поверхности образца при медленном развитии трещины (от начала нагружения до разрушения)

Величина нагрева значительно увеличивается с ростом скорости деформирования материала. На рис.4-показан листовый образец шириной 500мм и термограммы изменения теплового поля на различных стадиях зарождения и развития в листе трещины. Резкий всплеск максимальной температуры в стадии излома (рис.6г) можно объяснить как возросшей мощностью двух встречных источников теплообразования, так и ростом температуры поверхности при выходе полос сдвига на поверхность листа.

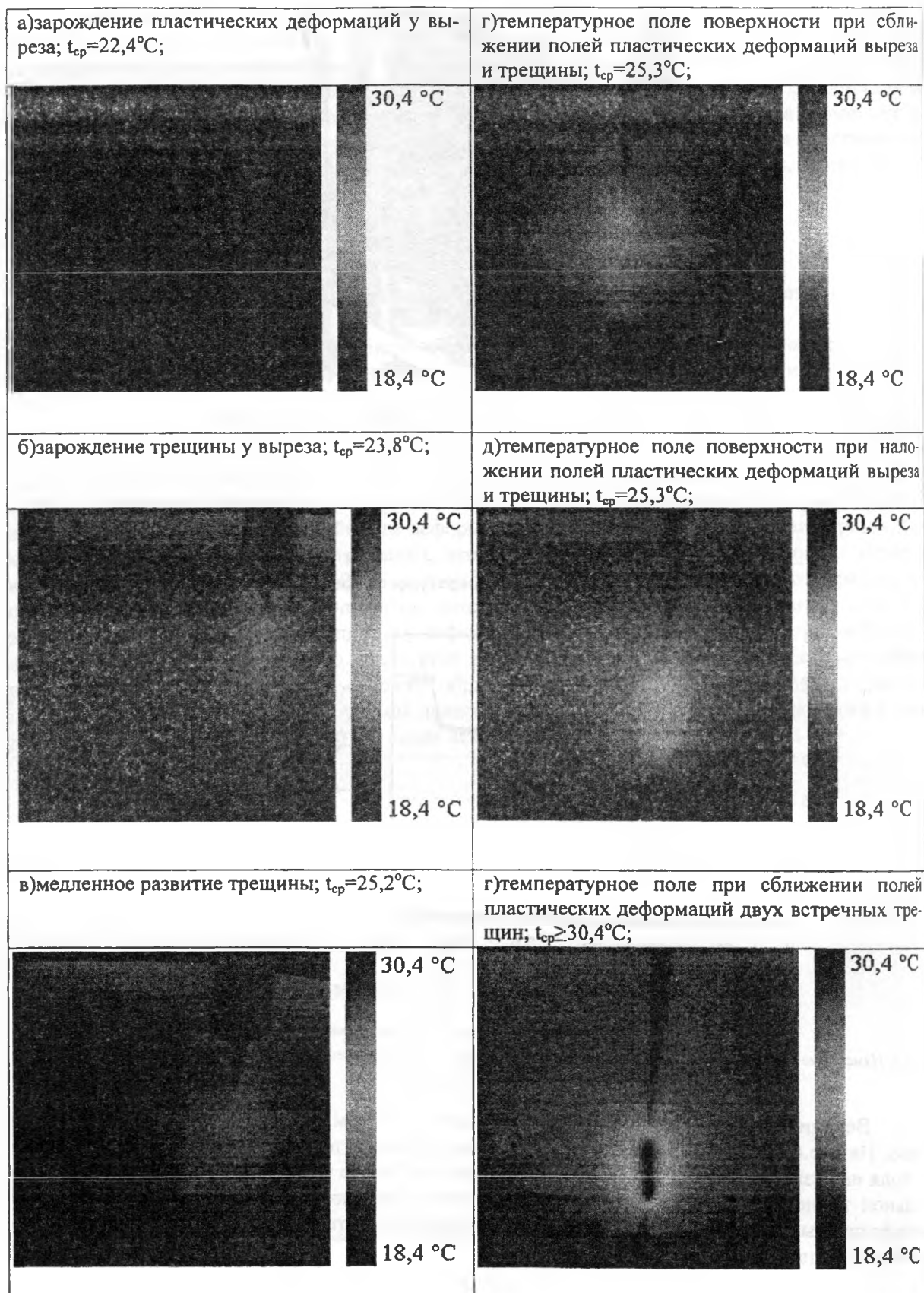


Рис. 6. Термограммы теплового поля поверхности у вершины надреза, трещины при медленном ее развитии в листе из низкоуглеродистой стали толщиной 0,5 мм

Рассмотренные процессы проявляются и при деформировании элементов и узлов конструкций. На рис.7,8 показаны испытываемое сварное соединение арматурных стержней и графики изменения максимальной температуры в деформируемых объемах в различные моменты нагружения.

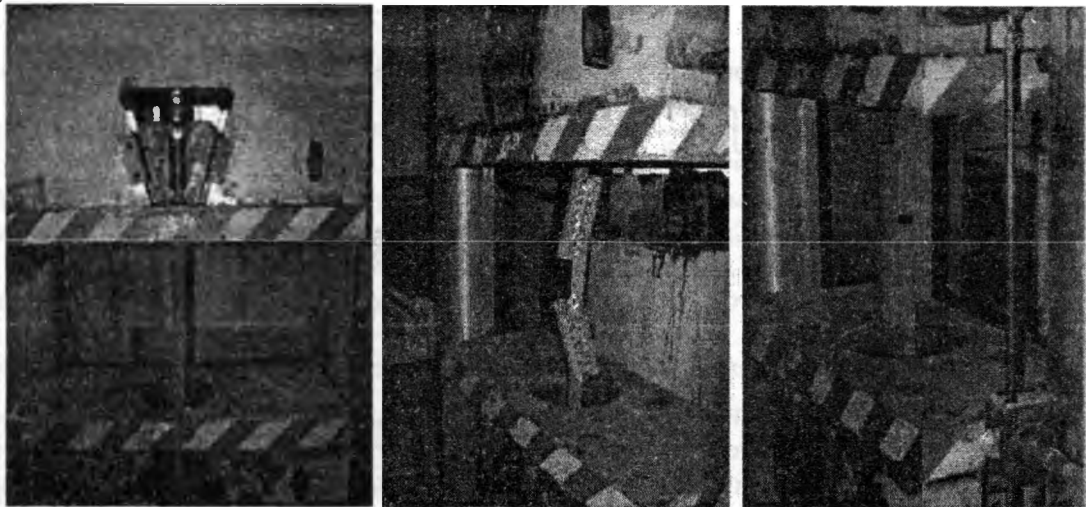


Рис.7.Виды экспериментальных сварных образцов арматурных стержней

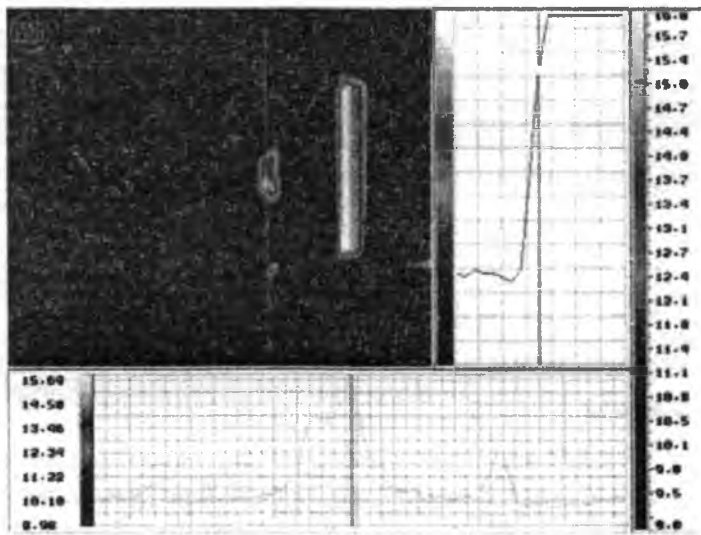


Рис.8. Термограмма и графики изменения температуры вдоль оси соединения (снизу) и изменения максимальной температуры при деформировании (вертикальная полоса на термограмме справа от образца – термограмма маслопровода испытательной машины)

IV. Работа деформации и теплообразование

Рассмотрим в некоторый момент времени t материальный объем W , ограниченный поверхностью Σ . Для элементарного объема dW можно определить внутреннюю энергию dE и энтропию dS с использованием понятий удельной внутренней энергии e и удельной энтропии s , отнесенных к единице массы плотностью ρ . Тогда имеем $dE = e \rho dW$, $dS = s \rho dW$. Из допущения об аддитивности внутренней энергии и энтропии имеем:

$$E = \iiint_W e \rho dW, S = \iiint_W s \rho dW. \tag{3}$$

Закон сохранения энергии для деформируемого объема W можно [10] записать в виде

$$\frac{dK}{dt} + \frac{dF}{dt} = \frac{\delta A}{dt} + \frac{\delta Q}{dt}. \quad (4)$$

В законе изменения энергии термомеханического континуума, представленного в виде (4), $\frac{dF}{dt} = \frac{d}{dt} \iiint_W \rho \frac{de}{dt} dW = \iiint_{dW} \rho \frac{de}{dt} dW$, $\frac{\delta A}{dt}$ - мощность внутренних поверхностных и массовых сил, действующих на объем W , т.е. работа A , которую внешние силы производят над объемом W в единицу времени. Символ « δ » означает, что приращения работы δA и теплоты δQ , соответствующие времени dt , не являются полными дифференциалами.

Рассмотрим тепловой поток Q через поверхность Σ . Величины теплового потока Q и его изменения $\delta Q/dt$ со временем можно выразить через вектор теплового потока \vec{q} , характеризующий поток тепла через единицу площади в единицу времени. Кроме теплового потока Q через поверхность Σ деформируемого объема W происходит приток тепловой энергии извне под действием распределенных тепловых источников интенсивностью z , т.е. в единице массы тела за единицу времени выделяется вследствие каких-то процессов, действующих извне или внутри тела, количество тепла z . Тогда скорость притока тепла к среде $\delta Q/dt$ можно определить из уравнения теплового баланса рассматриваемого тела по выражению

$$\frac{\delta Q}{dt} = - \iint_{\Sigma} q_n d\Sigma + \iiint_W \rho z dW. \quad (5)$$

Преобразуя выражение (4) можно записать уравнение сохранения энергии в локальной форме

$$\rho \frac{de}{dt} = \sigma_{ik} \xi_{ik} - \frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \rho z. \quad (6)$$

Предполагая, что тензор скоростей T_ξ можно представить в виде суммы $T_\xi = T_\xi^e + T_\xi^p$, уравнение (6) запишем в виде

$$\rho \frac{de}{dt} = \sigma_{ik} \xi_{ik}^e + \sigma_{ik} \xi_{ik}^p - \frac{\partial q_i}{\partial x_i} + \rho z. \quad (7)$$

Величина $\sigma_{ik} \xi_{ik}^p$, называемая диссипативной функцией, представляет собой скорость рассеяния энергии внутренними напряжениями в единице объема и предопределяет нагрев материалов при деформировании. Для большинства реальных ситуаций выполняется соотношение

$$\sigma_{ik} \xi_{ik}^p \geq \sigma_{ik} \xi_{ik}^e. \quad (8)$$

Деформирование растяжением происходит в соответствии со схемой рис. 1. При этом нагрев деформируемого объема является результатом его упругого охлаждения и пластического нагрева. На работу упругой деформации затрачивается часть работы деформирования A_e , а ее основная часть (работа пластической деформации A_p) превращается в теплоту (рис. 9), т.е.

$$A_p = A - A_e$$

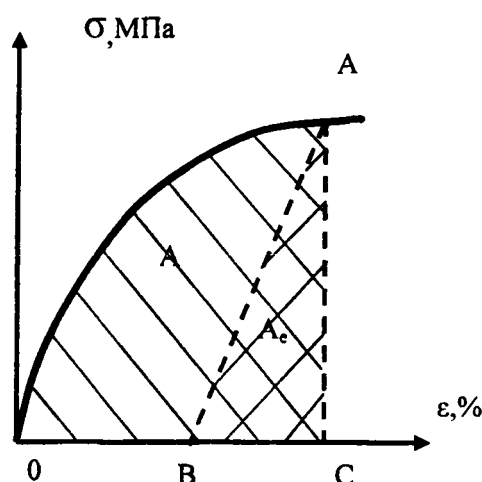


Рис.9. Схема определения величины работы при растяжении образца

Выделенная в процессе пластической деформации (в полосах сдвига) теплота распределяется в прилегающем объеме материала (потоки Φ и Q на рис.2) и частично отдается окружающей среде. Распределение температуры в произвольной точке деформируемого объема материала в любой момент времени τ можно определить из уравнения распространения тепла в вещественной среде[11], в частности при отсутствии движения тела, постоянных физических характеристиках материала (λ -коэффициент теплопроводности; c -удельная теплоемкость; γ -плотность),- по дифференциальному уравнению (10):

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T(x,y,z,\tau)}{\partial z^2} \right) + q_v = c \gamma \frac{\partial T}{\partial \tau}, \quad (10)$$

где q_v – мощность деформационного источника тепла.

Решение уравнения (10) для конкретного образца и при известных термограммах позволяет определить и мощность деформационного источника тепла.

Изложенное показывает, что по данным термографии деформирования элементов, изделий можно проследить процесс зарождения и развития разрушения в их элементах, а также - изменение в процессе деформирования механических характеристик материала и наступление предельного состояния исследуемого изделия [12,13].

V. Заключение

Проведенные исследования показали высокую эффективность применения инфракрасной термографии для изучения деформированного состояния конструктивных элементов в условиях их интенсивного нагружения и позволяют выявить следующие особенности динамики теплового излучения деформируемых изделий.

На графиках изменения температур деформируемого металла выделяются три стадии: на I-ой стадии при упругой работе металла происходит понижение его температуры; для второй стадии характерно значительное повышение температуры (средняя температура рабочей зоны повышается на несколько десятков градусов); на последней стадии происходит резкий подъем

температуры материала в окрестности излома и последующее его охлаждение. Интенсивный нагрев происходил в областях расположения дефектов (надрезов) на образцах, а другие участки этих образцов имеют значительно более низкие температуры. В моменты разрушения и обнажения поверхностей разрушения температура на таких поверхностях скачкообразно возрастает.

Термофильмы процесса деформирования образцов позволяют проследить кинетику деформирования образца в целом и его отдельных участков, выявить очаги зарождения разрушения, динамику развития разрушения.

При дальнейших экспериментальных исследованиях деформируемых образцов необходимо для увеличения информативности измерений повысить коэффициент излучения поверхности образца, например, ее зачернением, теплоизолировать поверхность образца, а измерение температур в наиболее нагретых зонах параллельно с ИК-термографированием проводить с помощью пленочных и др. термопар.

ЛИТЕРАТУРА

1. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Белл Ф. Дж. В 2-х частях. Часть I. Малые деформации: Пер. с англ./ Под ред. А.П.Филина.- М.: Наука, 1984.-600с.
2. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. Белл Ф. Дж. В 2-х частях. Часть II. Конечные деформации: Пер. с англ./ Под ред. А.П.Филина.- М.: Наука, 1984.-432с.
3. Пластичность и разрушение твердых тел. Надаи А. Том.2.-М.:Мир,1969.-863с.
4. Теория сопротивления материалов. Дружинин С.И.-Л.:Кубуч, 1930.-478с.
5. Госсорг Ж. Инфракрасная термография. Основы, техника, применение: Пер.с франц.-М.Мир, 1988.-416с.
6. Экспериментальная механика: В 2-х книгах.: Кн.2. Пер. с англ./ Под ред. А.Кобаяси.-М.:Мир,1990.-552с.
7. Maugin. G.A. The thermomechanics of plasticity and fracture.-Cambridge: Cambridge University press.-1992.-350p.
8. Лукин Е.С. Исследование предельного состояния конструкционных сталей по термопластическому эффекту. Автореферат дисс. на соискание уч. степени канд.техн.наук.- Якутск:ИФТПС РАН,2005г.-23с.
9. Максимкин О.П., Гусев М.Н.,Тиванова О.В. и др. Стадийность пластической деформации и разрушения облученных нейтронами металлических материалов// Материаловедение.-2002.-№3.-С.23-30.
10. Мейз Дж. Теория и задачи механики сплошных сред. Пер.с англ. Под ред.М.Э.Эглит.-М.:Мир,1974.-319с.
11. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. Изд.2-е.-М.-Л.: Машгиз,1962.-456с.
12. Мойсейчик Е.А., Балыкин М.К. Энергетическая характеристика разрушения металлических конструкционных материалов// Актуальные проблемы расчета зданий, конструкций и их частей: теория и практика.-Мн.: Технопринт,2002.-112-117с.
13. Мойсейчик Е.А., Филатов С.А. и др. Термомеханические эффекты при деформировании конструкционных материалов. Отчет по НИР. № гос.рег. 2001315.- Мн.:БНТУ, 2002.-162с.

УДК 621.94.084

Ширвель П.И.

ПРИМЕНЕНИЕ ФУНКЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ЭРИ В ПРОЧНОСТНОМ РАСЧЕТЕ ТВЭЛОВ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одним из главных факторов, определяющих работоспособность реактора АЭС, являются температурные условия работы его ТВЭЛов. Жёсткость условий работы ТВЭЛов (большие тепловые и радиационные нагрузки, высокое внешнее давление теплоносителя) предполагает повышенные требования к ним. В связи с этим возрастает роль теплофизических методов расчета тепловыделяющих элементов реактора.

Как известно, одной из причин появления напряжений в сплошном теле является именно неравномерный нагрев. ТВЭЛы активной зоны реактора работают при высоких температурах. Поэтому расчетно-теоретическое обоснование напряженно-деформированного состояния (НДС) ТВЭЛов и включает, в первую очередь, определение температурных полей и возникающих термонапряжений. При этом предполагаем, что теплофизические и механические характеристики материала остаются неизменными (или меняются в соответствии с полем температуры). Это относится и к прочностным свойствам материала.

Рассмотрим длинный стержневой ТВЭЛ с технологическим газовым зазором между топливом и оболочкой. В качестве топлива берется керметная композиция ($80\% \text{UO}_2 + 20\% \text{Cr}$). Распределение температуры в сердечнике и оболочке считается осесимметричным, плотность делений – равномерной по сечению ТВЭЛа. Предполагается, что реактор вышел на полную мощность и начальное распределение температуры в сердечнике к моменту выхода реактора на заданную мощность известно. Исследуем цилиндрическую модель топливного стержневого керметного сердечника ТВЭЛа ядерного реактора, изготовленного из диоксида урана в матрице из хрома.

Закон Гука при тепловых расширениях рассматриваемого тела имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} \left(\sigma_x - \nu (\sigma_y + \sigma_z) \right) + \alpha T; \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} \left(\sigma_y - \nu (\sigma_x + \sigma_z) \right) + \alpha T; \\ \varepsilon_z &= \frac{1}{E} \left(\sigma_z - \nu (\sigma_x + \sigma_y) \right) + \alpha T; \\ \gamma_{xy} &= \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy}; \\ \gamma_{xz} &= \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xz}; \\ \gamma_{yz} &= \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{yz}. \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Отметим, что ТВЭЛы, как правило, представляют собой длинные стержни с произвольным поперечным сечением. Это позволяет принять методы плоской задачи термоупругости для анализа термонапряженного состояния. Все поперечные сечения длинного ТВЭЛа эквивалентны за исключением тех, которые расположены вблизи концов. Такая идентичность сечений вытекает из принципа Сен-Венана: напряженное состояние в удаленных от мест приложения внешних нагрузок точках мало зависит от способа приложения этих нагрузок. Это удаление составляет 3–4 характерных размера рассматриваемой системы [1]. Например, для длинного стержневого ТВЭЛа поперечные сечения эквивалентны уже на расстояниях 3–4 диаметра от края стержня. Напряжения от локальных нагрузок убывают с расстоянием по закону геометрической прогрессии. Если поперечное сечение стержневого ТВЭЛа существенно меньше его длины, то данная система находится в состоянии плоской деформации. Это означает, что все сечения деформируются одинаково и только в своей плоскости, то есть все сечения находятся в одних и тех же условиях. Далее рассматривается состояние плоской деформации, поскольку длина стержневых ТВЭЛов явно превышает характерный размер поперечного сечения.

Рассмотрим упругое, изотропное неравномерно нагретое тело (сплошной однородный длинный цилиндр). Температурное поле предполагается известным и независимым от напряженного состояния. Влияние изменений объема, вызванных напряжениями, на тепловое поле крайне незначительно и в задаче не учитывается. Таким образом, в длинном цилиндрическом теле (с осью z), имеет место плоская деформация, при условии, что составляющая смещения вдоль продольной оси $w = 0$, а распределение внешней тепловой нагрузки не зависит от координаты z , т.е. $T = T(x, y)$. Считается, что все поперечные сечения находятся в одних и тех же условиях. Принимаем, что торцы тела не свободны (концевые сечения ТВЭЛа закреплены). Тогда из (1) следует:

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_z = \gamma_{xz} = \gamma_{yz} &= 0; \\ \tau_{xz} = \tau_{yz} &= 0; \\ \sigma_z &= \nu(\sigma_x + \sigma_y) - E\alpha T. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

С учетом (2) закон Гука при тепловых нагрузках для плоской задачи примет вид выражений (3):

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon_x &= \frac{1}{E} \left(\sigma_x (1 - \nu^2) - \sigma_y \nu (1 + \nu) + \nu E \alpha T \right) + \alpha T; \\ \varepsilon_y &= \frac{1}{E} \left(\sigma_y (1 - \nu^2) - \sigma_x \nu (1 + \nu) + \nu E \alpha T \right) + \alpha T; \\ \gamma_{xy} &= \frac{2(1 + \nu)}{E} \tau_{xy}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Компоненты деформации ε_x , ε_y и γ_{xy} должны удовлетворять условиям сплошности (неразрывности) Сен-Венана:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial y^2} = \frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y}. \quad (4)$$

Дважды дифференцируя выражения (3), получим:

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_x}{\partial y^2} = \frac{1}{E} \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial y^2} (1 - \nu^2) - \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} \nu (1 + \nu) + \nu E \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial^2 \varepsilon_y}{\partial x^2} = \frac{1}{E} \left(\frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2} (1 - \nu^2) - \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} \nu (1 + \nu) + \nu E \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} \right) + \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}; \quad (6)$$

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = \frac{2(1 + \nu)}{E} \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y}. \quad (7)$$

Компонента касательного напряжения τ_{xy} в (7) должна удовлетворять уравнениям равновесия. Уравнения равновесия (дифференциальные уравнения равновесия) для плоской задачи в общем виде имеют вид (8):

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\tau_{xy}}{\partial y} + X - \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\tau_{xy}}{\partial x} + Y - \rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где X, Y – составляющие объемной силы; ρ – плотность тела; u, y – проекции перемещения частицы тела по координатным осям. В данной статической задаче нет движения, следовательно, инерционные силы будут равны нулю. При отсутствии объемных сил уравнения статики (8) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\tau_{xy}}{\partial y} &= 0; \\ \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\tau_{xy}}{\partial x} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

Продифференцируем первое из уравнений (9) по x , второе по y и, складывая эти выражения, получим:

$$2 \frac{\partial^2 \tau_{xy}}{\partial x \partial y} = - \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} \right). \quad (10)$$

С помощью (10) выражение (7) примет вид:

$$\frac{\partial^2 \gamma_{xy}}{\partial x \partial y} = - \frac{(1+\nu)}{E} \left(\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} \right). \quad (11)$$

Подставляя (5), (6), (11) в (4), и упрощая полученное выражение, получаем условие сплошности Сен-Венана для термоупругой задачи в виде (12):

$$\frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \sigma_y}{\partial y^2} + \frac{E\alpha}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = 0. \quad (12)$$

Запишем (12) в виде (13):

$$\Delta(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{E\alpha}{1-\nu} \Delta T = 0, \quad (13)$$

где Δ - оператор для Лапласа для функции двух переменных $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2}$.

Дифференциальные уравнения равновесия (9) при отсутствии объемных сил удовлетворяются при подстановке равенств (14):

$$\sigma_x = \frac{\partial^2 F}{\partial y^2}; \quad \sigma_y = \frac{\partial^2 F}{\partial x^2}; \quad \tau_{xy} = \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y}, \quad (14)$$

где F — функцию напряжений (функция Эри)[2].

Подставляя (14) в (13) и получаем условия сплошности Сен-Венана записанные через функцию напряжений. Из полученных условий сплошности (12), вытекает, что функция напряжений F удовлетворяет неоднородному бигармоническому уравнению сплошности:

$$\Delta \Delta F + \frac{E\alpha}{1-\nu} \Delta T = 0. \quad (15)$$

Таким образом, термоупругие напряжения можно вычислить путем интегрирования функции напряжения F .

Перейдем к полярным координатам. Оператор Лапласа в полярных координатах имеет вид (16):

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2}. \quad (16)$$

А напряжения в полярных координатах через функцию Эри записываются как равенства (17):

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \theta^2}; \quad \sigma_\theta = \frac{\partial^2 F}{\partial r^2}; \quad \tau_{r\theta} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial F}{\partial \theta} - \frac{1}{r} \frac{\partial^2 F}{\partial r \partial \theta}. \quad (17)$$

Тогда с учетом (16) и (17) выражение (15) в полярных координатах примет вид

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) \left(\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial \theta^2} \right) + \frac{E\alpha}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right) T = 0. \quad (18)$$

Далее будем рассматривать осесимметричный случай термонапряженного состояния. Примем, что теплофизические характеристики материала постоянны, также как и плотность энерговыделения по объему. Для рассматриваемого стационарного случая распределение температурных полей известно [3] и определяется по формуле (19):

$$T(r) = T_s + \frac{q_v}{4 \cdot \lambda} (R^2 - r^2), \quad (19)$$

где T_s - температура поверхности цилиндра; q_v - тепловыделение в единице объема цилиндра; λ - коэффициент теплопроводности цилиндра; R - радиус цилиндрического сердечника. Как видно, абсолютное значение и характер распределения поля температуры в топливном сердечнике ТВЭЛа, для рассматриваемого случая, определяются мощностью внутреннего тепловыделения, теплофизическими свойствами материала и условиями теплосъема с поверхности.

Выражение (18) для осесимметричной плоской задачи термоупругости будет иметь вид:

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) F = - \frac{E\alpha}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) T(r). \quad (20)$$

Правая часть (20) с учетом (19) примет вид

$$- \frac{E\alpha}{1-\nu} \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(T_s + \frac{q_v}{4 \cdot \lambda} (R^2 - r^2) \right) = - \frac{E\alpha}{1-\nu} \left(\frac{-q_v}{\lambda} \right). \quad (21)$$

Операторное перемножение в левой части (20) представим в виде (22):

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} \right) = \frac{\partial^4 F}{\partial r^4} + \frac{\partial}{\partial r} \left(- \frac{1}{r^2} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} \right) + \frac{1}{r} \frac{\partial^3 F}{\partial r^3} + \frac{1}{r} \left(- \frac{1}{r^2} \frac{\partial F}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} \right), \quad (22)$$

которое, после преобразования равно

$$\left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \right) \left(\frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r} \right) = \frac{\partial^4 F}{\partial r^4} + \frac{2}{r} \frac{\partial^3 F}{\partial r^3} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r^3} \frac{\partial F}{\partial r}. \quad (23)$$

После подстановки (21) и (23) в (20) получим выражение (24), определяющее термонапряженное состояние модели топливного сердечника:

$$\frac{\partial^4 F}{\partial r^4} + \frac{2}{r} \frac{\partial^3 F}{\partial r^3} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 F}{\partial r^2} + \frac{1}{r^3} \frac{\partial F}{\partial r} = \frac{E\alpha q_v}{(1-\nu)\lambda}. \quad (24)$$

Теперь для нахождения главных напряжений необходимо подобрать функцию напряжений Эри $F(r)$, удовлетворяющую условию (24). Предполагаем, что функция напряжений может быть задана в общем виде как

$$F = C(R^2 - r^2)^2, \quad (25)$$

где C – некоторая постоянная, не зависящая в общем виде от r , а E, ν принимаем постоянными величинами ($E = \text{const}, \nu = \text{const}$) и считаем, что свойства материала не изменяются. Т.е. результаты будут получены в предположении, что в рассматриваемом интервале температур упругие постоянные и коэффициент линейного расширения постоянны.

Запишем функцию Эри в виде (25) и подставим в (24). После ряда упрощений и преобразований в (24), в конечном итоге получаем:

$$C = \frac{E\alpha q_v}{64(1-\nu)\lambda}. \quad (26)$$

Откуда очевидно, что подобранная функция напряжений $F = C(R^2 - r^2)^2$, удовлетворяющая неоднородному бигармоническому уравнению (15), равна (27):

$$F = \frac{E\alpha q_v}{64\lambda(1-\nu)} (R^2 - r^2)^2. \quad (27)$$

Напряжения для плоской осесимметричной задачи в полярной системе координат через функцию Эри запишутся в виде:

$$\sigma_r = \frac{1}{r} \frac{\partial F}{\partial r}; \quad \sigma_\theta = \frac{\partial^2 F}{\partial r^2}; \quad \sigma_{r\theta} = \sigma_{\theta r} = 0. \quad (28)$$

По выражениям (26) определение термоупругих напряжений в сердечнике сводится к дифференцированию найденной функции напряжений Эри (25), что не составляет большого труда и приводит к следующему результату

$$\sigma_r = \frac{E\alpha q_v}{16\lambda(\nu-1)} (R^2 - r^2); \quad (29)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E\alpha q_v}{16\lambda(\nu-1)} (R^2 - 3r^2). \quad (30)$$

Выражения (29) и (30) определяют радиальные и окружные термоупругие напряжения, возникающие в цилиндрическом топливном сердечнике. Подставляя (29) и (30) в (2), находим осевое напряжение в топливном элементе условиях плоской деформации:

$$\sigma_z = \frac{E\alpha q_v}{4\lambda(1-\nu)}(R^2(1-\frac{\nu}{2})-r^2). \tag{31}$$

Выражения (29), (30) и (31) описывают напряженное состояние в цилиндрическом топливном сердечнике ТВЭЛа. Задавая свойства материала топливного стержня (таблица 1), по (29)-(31) получаем область распределения термонапряжений в сечении топливного элемента (рис.1).

Таблица 1

Величина	Значение
R - радиус топливного сердечника	0.003м
E - модуль упругости топливной композиции	1.85x10 ⁵ МПа
ν - коэффициент Пуассона топлива	0.29
λ - коэффициент теплопроводности топливной композиции	18 Вт/(м·К)
q _v - тепловыделение в единице объёма топливного сердечника	2.234x10 ⁹ Вт/м3
α -коэффициент линейного расширения топливного материала	11.3x10 ⁻⁶ град ⁻¹
T _s - температура поверхности топливного сердечника	600(873) ⁰ С(К)

Как видно из рис. 1, неоднородное температурное поле обуславливает появление значительных термонапряжений в топливном сердечнике ТВЭЛа.

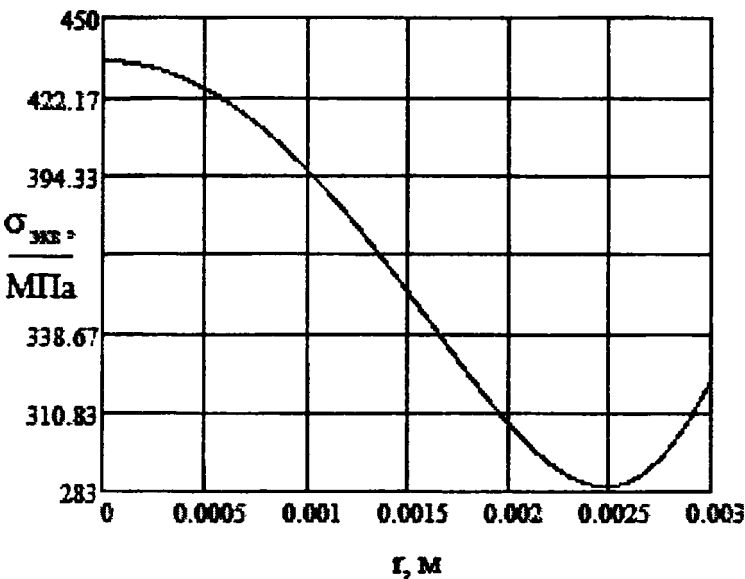


Рис. 1. Интенсивность напряжений по сечению сердечника

Их физическая сущность связана с неоднородной температурной деформацией различных участков топливного сердечника. В условиях неоднородного температурного поля горячие участки стремятся расшириться, а соседние холодные участки не допускают этого. Так как в сердечнике ТВЭЛа цилиндрической формы температура от центра к поверхности спадает по параболическому закону(19), то центральные участки цилиндра находятся при более высокой температуре по сравнению с поверхностью. То есть приповерхностные области цилиндрического ТВЭЛа подвержены растягивающим напряжениям, а центральные области - сжимающим.

Отметим, что известно аналитическое решение температурной задачи для длинного круглого осесимметричного цилиндра [4]. Компоненты тензора напряжений этого решения имеют вид (30).

$$\sigma_r = \frac{\alpha E}{1-\nu} \left(\frac{1}{R^2} \int_0^R T \cdot r dr - \frac{1}{r^2} \int_0^r T \cdot r dr \right); \sigma_\theta = \frac{\alpha E}{1-\nu} \left(\frac{1}{R^2} \int_0^R T \cdot r dr + \frac{1}{r^2} \int_0^r T \cdot r dr - T \right). \tag{30}$$

Сопоставим результаты расчета термонапряжений через подобранную функцию Эри с аналитическими результатами(30). Как видно из рис. 2-4 решение, полученное с помощью функции напряжений Эри достаточно корректно отображает картину распределения термонапряжений для модели цилиндрического сердечника.

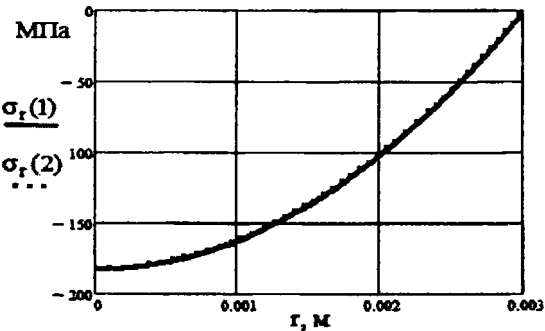


Рис.2. Радиальные напряжения: 1- расчет через функцию Эри; 2- аналитическое решение

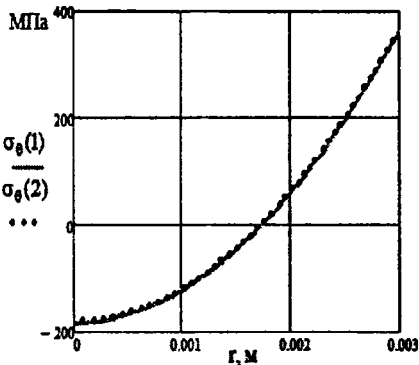


Рис.3. Окружные напряжения: 1- расчет через функцию Эри; 2- аналитическое решение

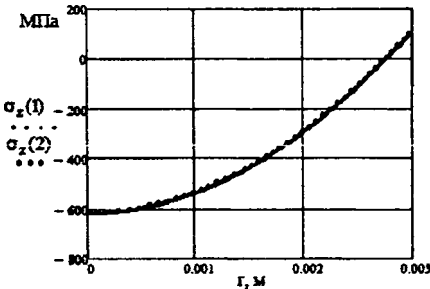


Рис.4. Осевые напряжения: 1- расчет через функцию Эри; 2- аналитическое решение

Максимальное расхождение результатов проводимого расчета с точным аналитическим решением составило для радиальных напряжений 1,9МПа; для окружных 1,36МПа; для осевых 1МПа, что менее 1%. Кроме того, полученные с помощью функции Эри значения основных характеристик напряженного состояния, сопоставимы с экспериментальными результатами для топливных стержней ТВЭЛов [6].

В заключении отмечу, что частные случаи решения уравнения теплопроводности для различных тел как с источниками тепла, так и без них рассмотрены во многих работах и, конечно, могут быть использованы в практических задачах. Однако решения в аналитическом виде могут быть получены лишь в том случае, если функция распределения источников тепла допускает интегрирование уравнения. С помощью таких аналитических решений (30) в работе проводилась проверка результатов прочностного расчета. Однако эти аналитические решения могут быть получены лишь в том случае, если функция распределения источников тепла допускает интегрирование уравнения. Примером может служить вывод формул для термических напряжений в полом цилиндре, приведенный в [5]. Недостаток таких решений температурных задач еще и в том, что эти формулы получены из интегральных соотношений, выведенных применительно к телам, не испытывающим внешних нагрузок. В действительности же, топливный сердечник испытывает напряжение не только вследствие нагрева, но и из-за действия внешнего давления со стороны газового зазора и облучения нейтронным потоком. Поэтому аналитические интегральные формулы решения нельзя принимать для полного прочностного расчета топливного элемента. Привлекательность же полученных, с помощью функции напряжений Эри, соотношений (29), (30), (31) для определения термонапряжений в топливном элементе несомненна: они позволяют определить стационарные термонапряжения в топливном стержне без решения задачи теплопроводности. По этим выражениям легко построить тензоры деформаций и напряжений с дальнейшей оценкой прочности элемента. Таким образом, полный прочностной расчет сердечника сводится к подбору функции напряжений, удовлетворяющей неоднородному бигармоническому уравнению состояния топливного элемента. Также, очевидна определенная перспектива в использовании функции напряжений Эри для определения неосесимметричного НДС[7] топливных сердечников ТВЭЛов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фрост, Б. Твэлы ядерных реакторов: Пер. с англ. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 248с.
2. Лурье, А.И. Теория упругости/ А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 940с.
3. Займовский А.С. Тепловыделяющие элементы атомного реактора/ А.С. Займовский, В.В. Калашников, И.С. Головин. – М.: Атомиздат, 1979. – 517с.
4. Ширвель П.И. Решение радиационно-термоупругой задачи для сплошного цилиндра.-Теоретическая и прикладная механика, Минск, 2008, вып.23, с.55-63.
5. Тимошенко, С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. - М. Наука, 1979. - 551с.
6. Куликов, И.С. Прочность тепловыделяющих элементов быстрых газоохлаждаемых реакторов / И.С.Куликов, Б.Е. Тверковкин.- Мн.: Наука и техника, 1984. -104с.
7. Ширвель, П.И. О неосесимметричном НДС неравномерно нагретого длинного сплошного цилиндра, подверженного нейтронному облучению/П.И. Ширвель, И.С. Куликов// Республиканский межведомственный сборник «Машиностроение», Мн., 2008, вып.24, том 1, С.185-191.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ И ПРОЦЕССЫ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

УДК 621.993.187

Шагун В.И., Чарторийский А.В.

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ МЕТЧИКА НА ОТКЛОНЕНИЯ ПОЛОВИНЫ УГЛА ПРОФИЛЯ РЕЗЬБЫ В СТАЛИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Во всех отраслях машино- и приборостроения наиболее широко используются метрические резьбы диаметрами от 1 до 600 мм. Для их изготовления применяют различные резьбообразующие инструменты. Например, для нарезания внутренней резьбы диаметром 2...50 мм в основном используют метчики.

По конструкции и применению номенклатура метчиков достаточно разнообразна. Требуемая точность нарезаемой ими резьбы во многих случаях высокая. Поэтому проблема точности резьбы актуальна и по сей день.

В практике, например, не возникает особых проблем при необходимости получения отверстий 13-ого — 12-ого квалитетов точности. Достаточно сверлений. При необходимости получения более точных отверстий могут использоваться зенкеры и развертки. Для каждой степени точности может быть предложена определенная последовательность обработки, в результате которой обеспечатся необходимые требования по точности отверстий. Вопрос значительно усложняется при необходимости получения высокой точности поверхностей сложной конфигурации. Характерными в этом отношении являются резьбы. Внутренняя резьба в большинстве случаев нарезается метчиком, и он один, без последующей обработки другими инструментами, должен обеспечить высокую точность. Это заставляет изыскивать возможности нарезания точных резьб метчиками.

Факторы и их влияние на размеры резьбы, очень разнообразны. Многие исследования, проведенные в нашей стране и за рубежом, показывают, что на приведенный средний диаметр (собственно средний диаметр с приведенными к нему ошибками шага и половины угла профиля) резьбы изделия влияет множество факторов и параметров, одни из которых — геометрические параметры метчика [1].

В процессе резьбообработки на метчик воздействуют осевая сила резания и внешняя осевая сила перемещения шпинделя станка при нарезании резьбы методом самозатягивания. Осевая сила P_0 выталкивает метчик из нарезаемого отверстия. Метчик сопротивляется, опираясь своими боковыми кромками O на уже образованные поверхности резьбы (рис.1). Эти силы достаточно большие и опорные кромки метчика O внедряются в тело уже образованных витков резьбы и снимают с них дополнительную стружку. Противоположные опорным кромки n метчика отрываются от уже сформированных ими участков профиля, образуя на них ступеньки. Впадина нарезаемой резьбы расширяется ($B_d > B$), средний диаметр резьбы увеличивается ($d_{2d} > d_2$), искажается шаг ($P_d < P$) и половина угла профиля по неопорным сторонам. Наступает так называемое разбивание резьбы. По опорным сторонам O шаг и половина угла профиля резьбы соответствуют параметрам метчика по опорным кромкам, а по противоположным n — отклоняются от параметров резьбы метчика [2].

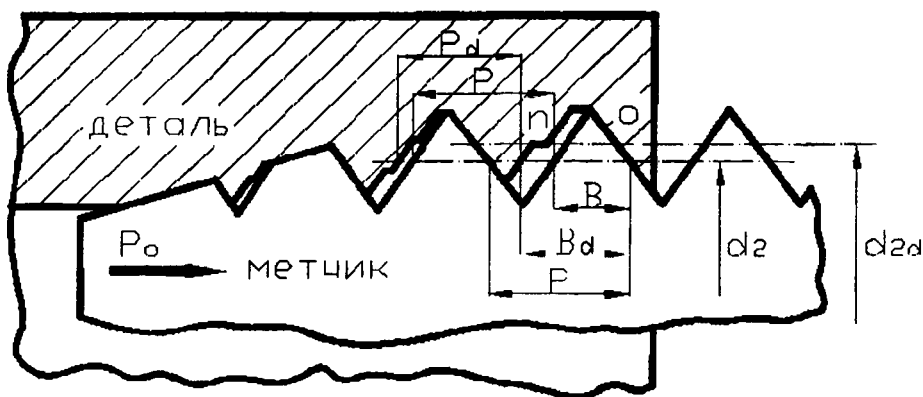


Рис. 1. Положение метчика в отверстии при нарезании резьбы методом самозатягивания

При выполнении экспериментальных исследований использовали четырехперые метчики М 16×2 двух типов: тип А – затылованы по профилю на всей ширине пера; тип Б – затылованы по профилю на 2/3 ширины пера. Исследования выполнялись методом однофакторного эксперимента: изучалось влияние каждого параметра метчика отдельно при сохранении постоянными остальных, равных исходным. Поэтому с целью повышения разрешающей способности эксперимента, уменьшения «шумовых» эффектов от влияния неучтенных факторов, условия эксперимента поддерживались с максимально достижимой точностью. Так, метчики выполнялись с точностью резьбовых калибров, отклонения геометрических параметров не превышали $\pm 10'$, а радиальное биение заборной части и несоосность осей нарезаемых отверстий и оси вращения шпинделя станка – 0,01 мм. Положение основания заборного конуса метчика относительно первого полнопрофильного зуба его резьбы выдерживалось с точностью до 0,1 мм по оси метчика. Крепились метчики в плавающем и жестком патронах.

Режущая часть метчика формирует профиль резьбы по генераторной схеме резания. Каждый режущий зуб метчика срезает стружку определенного вида и сечения, но одинаковой толщины. От угла заборного конуса зависит толщина срезаемого слоя, а стало быть, как следствие, и силы резания и точность резьбы.

Как показали эксперименты, при увеличении угла заборного конуса φ возрастает осевая сила P_0 и ее удельные давления на опорных кромках О метчика, увеличивается интенсивность нарастания и расширения ее впадины B_0 . Половина угла профиля резьбы также увеличивается (рис. 2 и 3).

У метчиков типа А, боковые режущие кромки под действием осевых сил в состоянии внедряться в тело уже образованных витков резьбы и срезать с них дополнительную стружку, увеличивая тем самым отклонение половины угла профиля резьбы (рис. 2). Метчики типа Б практически нечувствительны к воздействию осевых сил, так как опираются на резьбу незатылованными площадками и при нарезании резьбы методом самозатягивания, и обеспечивают несколько более точный профиль резьбы (рис. 3). Не очень сильное отличие графиков на рисунках 2 и 3 подтверждает мнение, что разбивание резьбы при изменении угла заборной части φ зависит не только от осевых, но и от радиальных сил [1].

Затылование метчиков по профилю k1 сильно влияет на точность нарезаемых резьб (рис. 4). Возможность получить точную резьбу метчиком типа А намного сложнее из-за полного затылования спинки зуба.

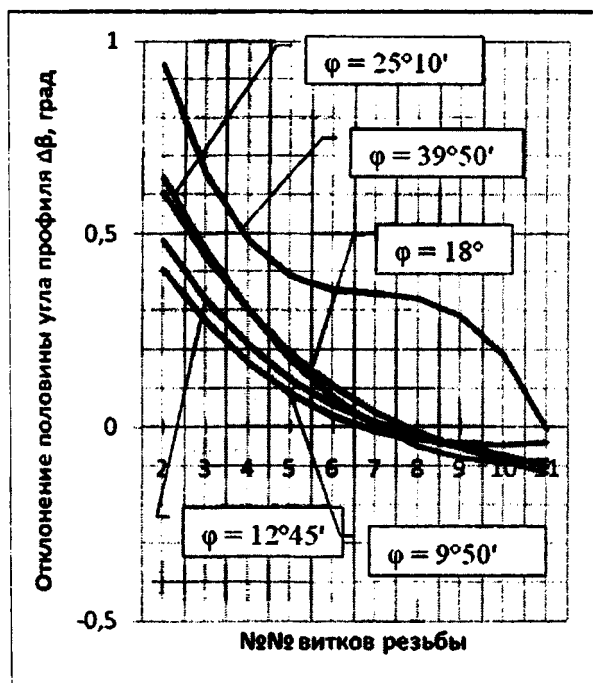


Рис. 2. Влияние угла заборного конуса φ на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа Б в плавающем патроне

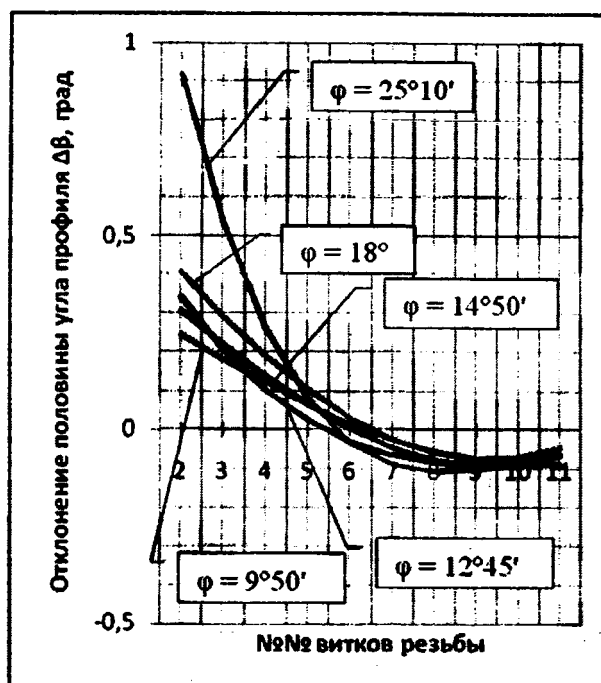


Рис. 3. Влияние угла заборного конуса φ на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа Б в жестком патроне

В эксперименте исследовались метчики типа А и типа Б (рис. 4 и 5). При значении затывания $k_1 = 0$ у зубьев метчика имеются большие незатывованные площадки, что дает возможность метчику при нарезании резьбы упираться в нее и не расширять впадину (рис. 4 и рис. 5; $k_1 = 0$ мм).

С увеличением затывания под действием одной и той же осевой силы зубья метчика типа А глубже внедряются в тело боковых сторон резьбы, снимают с них более толстую стружку, увеличивая средний диаметр, ошибки шага и половины угла профиля.

Метчики типа Б почти нечувствительны к изменению k_1 (рис. 5).

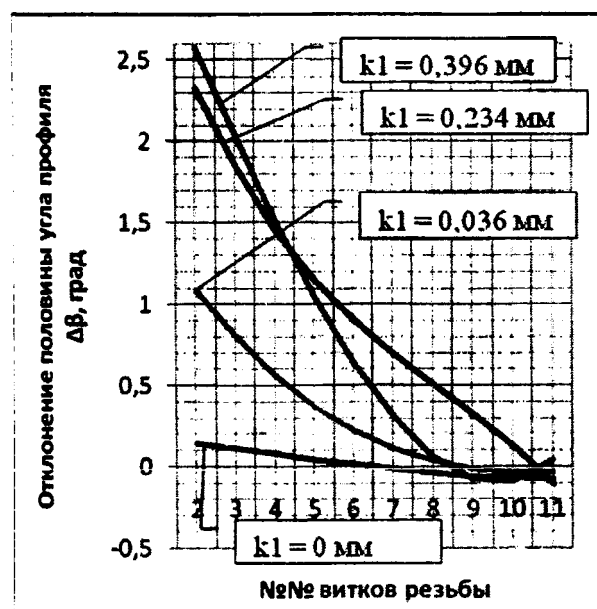


Рис. 4. Влияние затывания по профилю k_1 на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа А в плавающем патроне

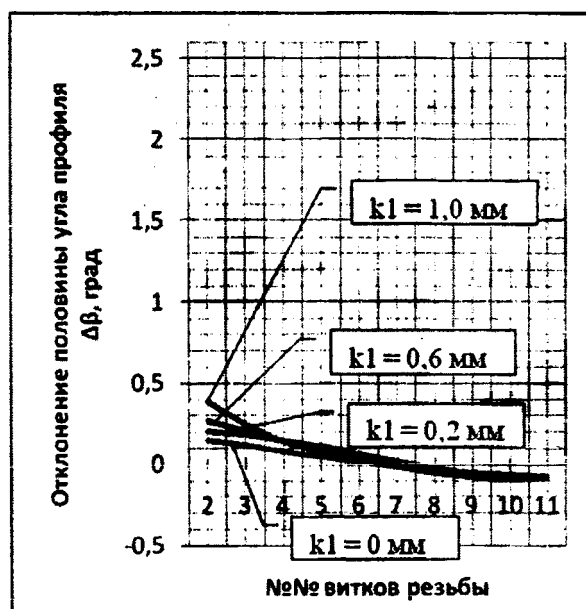


Рис. 5. Влияние затывания по профилю k_1 на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа Б в плавающем патроне

Метчики с винтовой стружечной канавкой используются при нарезании резьбы в деталях с продольными канавками в отверстиях. Другое назначение винтовой стружечной канавки - управлять направлением схода стружки.

Левое направление предназначено для сквозных отверстий, правое - для глухих. Благодаря большому углу наклона канавок стружка выводится или вниз или вверх.

При нарезании точных правых резьб метчиками для отвода стружки необходимо применять винтовые стружечные канавки с положительным углом ω , т.к. при отрицательном значении ω стружка движется по направлению осевого движения метчика. Такое удаление стружки из отверстия увеличивает осевую силу P_0 и понижают точность резьбы. Применяется только для сквозных отверстий относительно низкой точности.

При нарезании резьбы в стали более высокую точность обеспечивает угол наклона стружечной канавки $\omega = 30^\circ$ (рис. 6 и рис 7). Это связано с тем, что практически компенсируются осевые силы P_0 (от наличия угла ϕ) осевой составляющей от давления срезаемого слоя на переднюю поверхность метчика.

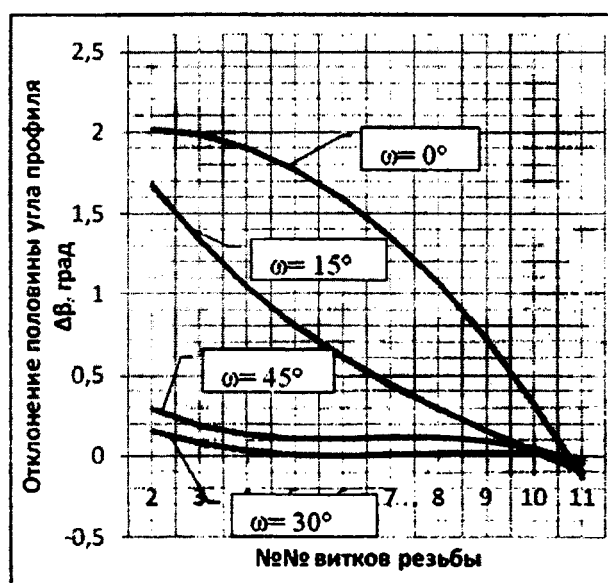


Рис. 6. Влияние угла наклона стружечной канавки ω на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа А в плавающем патроне

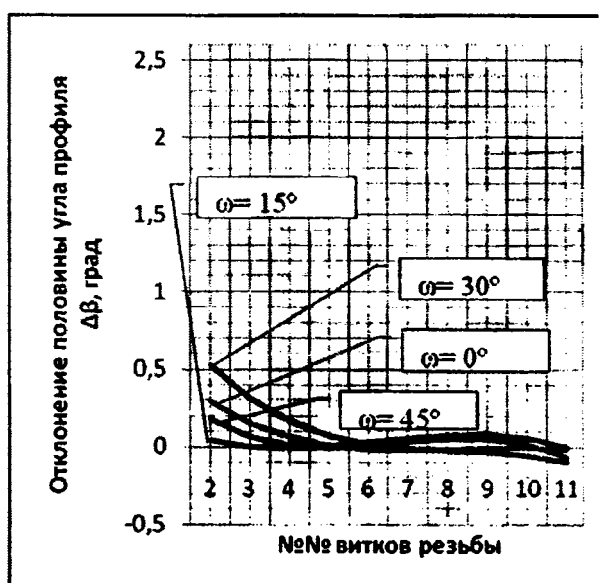


Рис. 7. Влияние угла наклона стружечной канавки ω на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа Б в плавающем патроне

Увеличение переднего угла уменьшает силу резания, в том числе осевую составляющую. Точность резьбы, нарезаемой метчиками типа А повышается.

Влияние переднего угла γ у метчиков типа Б сложное и объясняется изменениями опорных площадок на заборной части метчика.

Задний угол α на метчиках обеспечивается радиальным затылованием режущей части по наружному диаметру. Соответственно, чем больше значение затылования k , тем больше значение заднего угла α и меньше силы резания, в том числе и осевая.

Экспериментальные исследования, выполненные в Белорусском национальном техническом университете выявили, что затылование должно быть больше у метчиков типа А (рис. 8). У метчиков типа Б изменения α не влияет на точность резьбы, так как они практически не чувствительны к воздействию осевых сил (рис. 9).

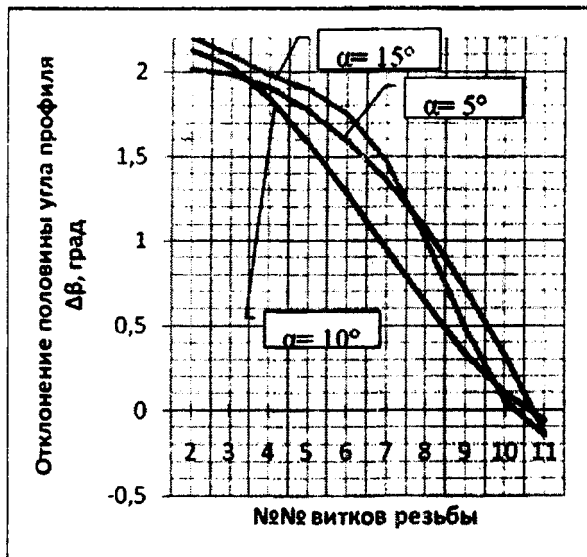


Рис. 8. Влияние заднего угла α на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа А в плавающем патроне

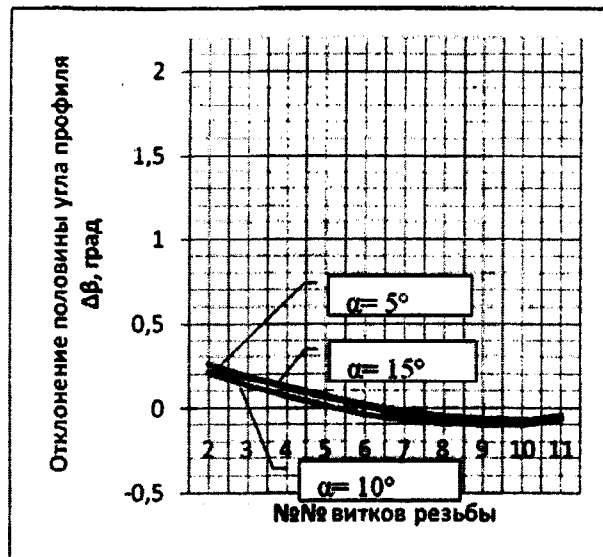


Рис. 9. Влияние заднего угла α на отклонение половины угла профиля резьбы $\Delta\beta$, нарезанной метчиками типа Б в жестком патроне

На основании выполненных исследований для повышения точности профиля резьбы в стали, нарезаемой самозатягиванием метчика (единичное и мелкосерийное производство), целесообразно использовать следующие метчики:

- невосприимчивые к воздействию осевых сил, такие как незатылованные по профилю резьбы или затылованные на 2/3 ширины пера;
- с задним углом $\alpha \approx 10^\circ$;
- с углом наклона стружечной канавки $\omega \approx 30^\circ$ (правое направление канавки для правой резьбы и левое – для левой);
- с углом заборной части $\varphi \approx 9^\circ 50'$;

В массовом и крупносерийном производстве точную резьбу выгоднее нарезать по резьбовому копиру, которым оснащают резьбонарезной шпиндель станка. При этом обязательно жесткое в осевом направлении закрепление метчика. Такой способ исключает воздействие осевых сил на метчик и позволяет использовать метчики с параметрами, оптимальными по другим критериям, например, стойкости, технологичности и т.д.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шагун, В.И. Влияние геометрических и конструктивных параметров машинных метчиков на размеры резьбы, нарезаемой в стали. В сб.: Резьбообразующий инструмент. – М.: НИИМаш, 1968. – С. 229 – 241.
2. Шагун В.И., Чарторийский А.В. Неразрушающий метод контроля отклонений половины угла профиля внутренних резьб малого диаметра. В сб.: Машиностроение. Вып 22. – Мн.: «Технопринт», 2006.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО МАТЕРИАЛА НА ВЕЛИЧИНУ УГЛА СХОДА СТРУЖКИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

В процессе исследований обрабатываемости материалов авторами проводились многочисленные эксперименты по определению влияния различных физико-механических свойств обрабатываемого материала (стали 20ХНЗА) на величину угла схода стружки при свободном резании. Опыты по определению угла схода стружки осуществлялись по известной методике, [1].

При этом исследовались как парные зависимости между углом схода стружки и твердостью НВ, пределом прочности σ_b , относительным удлинением δ , относительным сужением ψ , ударной вязкостью a_k , частотой f и амплитудой A колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, частоты собственных колебаний образца γ , параметров тонкой кристаллической структуры, процентного содержания остаточного аустенита, микротвердости и сил резания R_x , R_y , R_z , R , так и зависимости угла схода стружки от совместного воздействия всех названных параметров.

Отдельно были проведены исследования влияния на величину угла схода стружки твердости, предела прочности, относительных удлинения и сужения, ударной вязкости в первом случае и частоты и амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, частоты собственных колебаний обрабатываемой заготовки, плотности дислокаций, величины блоков мозаики и содержания остаточного аустенита. Частота собственных колебаний заготовки оценивалась по показаниям прибора „Звук-107“ согласно методике, разработанной Институтом прикладной физики НАН РБ. Плотность дислокаций и величину блоков мозаики определяли по суммарной ширине рентгеновских линий В110 и В220.

Исследование совокупного воздействия НВ, σ_b , δ , ψ , a_k , f , A , γ , плотности дислокаций, величины блоков мозаики и процента остаточного аустенита ОА на величину угла схода стружки позволили получить следующие зависимости:

$$\text{Уг. сх.} = \exp(5,05 + 0,0011\text{НВ} - 0,0011\sigma_b - 0,0294\delta + 0,0042\psi - 0,0004a_k + 0,00001f + 0,0016A + 0,0119\gamma - 0,3086B_{110} + 0,2002B_{220} + 0,0026(\text{ОА}))$$

$$\text{Уг. сх.} = 1 / ((2,996 + 2,149\text{НВ} - 0,026\sigma_b + 2,916\delta + 2,834\psi - 0,832a_k + 1,783f + 2,903A + 2,863\gamma + 2,997B_{110} + 2,994B_{220} + 2,971(\text{ОА})))$$

$$\text{Уг. сх.} = 143,07 - 0,041\text{НВ} - 0,02\sigma_b - 1,996\delta + 0,251\psi + 0,002a_k - 0,006f + 0,111A + 0,749\gamma - 53,26B_{110} + 8,61B_{220} + 0,239(\text{ОА})$$

$$\text{Уг. сх.} = 292 \cdot \text{НВ}^{0,091} \sigma_b^{-0,223} \delta^{-0,615} a_k^{0,063} f^{-0,055} A^{0,018} \gamma^{0,4} B_{110}^{-0,918} B_{220}^{0,252} \text{ОА}^{0,010} \psi^{-0,062}$$

Как оказалось, лучше других описывает зависимость угла схода стружки от указанных одиннадцати физико-механических параметров обрабатываемого материала линейная модель (коэффициент множественной корреляции 0,654). Несколько ниже коэффициент множественной корреляции наблюдался при использовании экспоненциальной модели (0,546). Линейная модель может быть с успехом использована для подобного рода анализа.

Как видно из приведенных выражений, в большей степени на угол схода стружки оказывают плотность дислокаций, величина блоков мозаики, упруго-пластические свойства материала (относительные удлинение и сужение), частота собственных колебаний образца. Твердость же, предел прочности, ударная вязкость влияния на величину схода стружки практически не оказывают.

В связи с изложенным выше, отдельно были проведены исследования по определению зависимостей угла схода стружки от твердости, предела прочности, относительного удлинения, относительного сужения и ударной вязкости по линейной, экспоненциальной, мультипликативной, обратной и логарифмической моделям. При этом были получены следующие зависимости:

$$\text{Уг. сх.} = \exp(4,757 + 0,002\text{HB} - 0,0007\sigma_6 - 0,023\delta + 0,008\psi - 0,00006a_n)$$

$$\text{Уг. сх.} = 1/(1,798 + 1,3\text{HB} - 0,02\sigma_6 + 1,75\delta + 1,7\psi - 0,477a_n)$$

$$\text{Уг. сх.} = 114,76 - 3,94\ln(\text{HB}) + 1,44\ln(\sigma_6) - 40,5\ln\delta + 26,196\ln\psi + 1,208\ln(a_n)$$

$$\text{Уг. сх.} = 98,623 - 0,007\text{HB} - 2,41\sigma_6 - 1,745\delta + 0,607\psi + 2,624E - 0,5a_n$$

$$\text{Уг. сх.} = 126,82\text{HB}^{-0,033} \sigma_b^{0,0005} \delta^{-0,471} \psi^{0,299} a_i^{0,015}$$

Из анализа полученных зависимостей видно, что и в этом случае на величину угла схода стружки в большей степени влияют относительные удлинения и сужение. Твердость, предел прочности и ударная вязкость оказывают на угол схода стружки значительно меньшее влияние. Сравнивая значения коэффициентов множественной корреляции, можно заметить, что для трех моделей – логарифмической, мультипликативной и линейной – они примерно равны и соответственно составляют 0,545, 0,54 и 0,546. Это говорит о том, что эти модели в определенных условиях могут применяться для анализа зависимостей угла схода стружки от твердости, предела прочности, относительного удлинения, относительного сужения и ударной вязкости. Вместе с тем, необходимо отметить достаточно слабую корреляционную связь между углом схода стружки и названными пятью свойствами материала.

При исследовании зависимости угла схода стружки от частоты и амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, частоты собственных колебаний заготовки, параметров тонкой кристаллической структуры и процента остаточного аустенита были использованы экспоненциальная, мультипликативная, обратная и линейная модели.

$$\text{Уг.сх.} = \exp(4,334 - 0,00009f + 0,0018A + 0,0102\gamma - 0,3373B_{110} - 0,0251B_{220} + 0,0022(OA))$$

$$\text{Уг.сх.} = 1/(0,4997 - 0,1186f + 0,4384A + 0,4213\gamma + 0,4996B_{110} + 0,4992B_{220} + 0,5199(OA))$$

$$\text{Уг.сх.} = 75,49 - 0,0063f + 0,1536A + 0,8497\gamma - 28,0808B_{110} - 2,1839B_{220} + 0,1979(OA)$$

$$\text{Уг. Сх.} = 32,334f^{-0,0759} A^{0,1896} \gamma^{0,3134} B_{110}^{-0,2869} B_{220}^{-0,03} OA^{0,0711}$$

Лучшие результаты были получены при использовании линейной и экспоненциальной моделей, коэффициенты множественной корреляции составили соответственно 0,462 и 0,459. Несмотря на достаточно слабые зависимости, можно констатировать, что на угол схода стружки большее влияние оказывают плотность дислокаций и величина блоков мозаики.

Одновременно с этим, проводились исследования по выявлению парных взаимодействий между углом схода стружки и силами резания R_x , R_y , R_z , R и одиннадцатью перечисленными выше физико-механическими свойствами обрабатываемого материала.

Необходимо отметить, что достаточно четких корреляционных зависимостей между углом схода стружки и силами резания R_x , R_y , R_z , R обнаружить не удалось (в случае, когда не учитывались конкретные режимы термической обработки). При учете режимов термообработки для названных парных взаимодействий были зафиксированы слабые корреляционные зависимости уг. сх.= $f(R_x)$, уг. сх.= $f(R_y)$, уг. сх.= $f(R_z)$, уг. сх.= $f(R)$, корреляционное отношение составляло от 0,39 до 0,49.

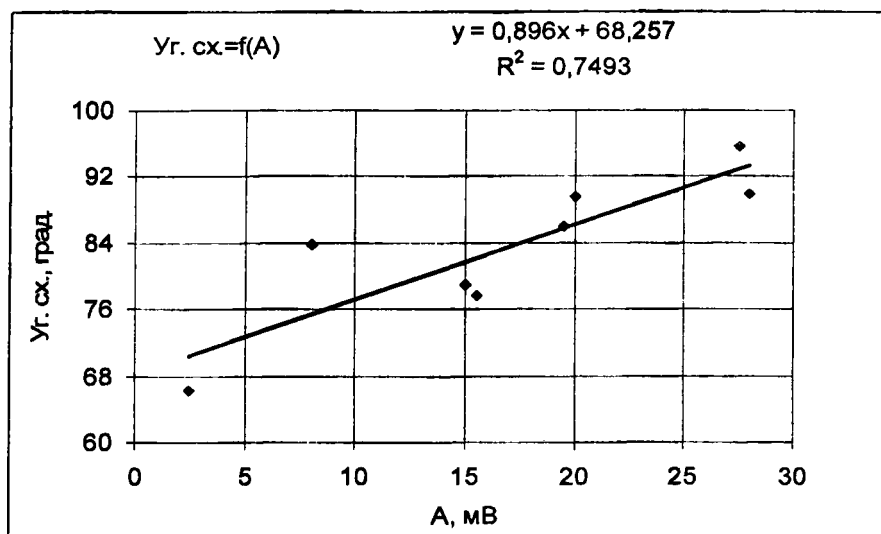


Рис. 1. График зависимости величины угла схода стружки от амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемую заготовку, для конкретного режима термообработки (охлаждение вместе с печью до температуры 500°C, а затем – на спокойном воздухе)

При исследовании зависимости угла схода стружки от амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на заготовку, было установлено, что существует достаточно четкая взаимосвязь между названными параметрами в том случае, когда рассматривается влияние амплитуды на угол схода стружки для конкретного способа охлаждения после термообработки. Всего было использовано три способа охлаждения: с печью до 500°C, а затем – на спокойном воздухе; в струе воздуха и на спокойном воздухе. Если же такая взаимосвязь рассматривается для совместного воздействия всех трех режимов обработки, корреляционное отношение составляет всего 0,36.

Аналогичная тенденция была обнаружена и при исследовании парных зависимостей величины угла схода стружки от твердости, предела прочности, относительного удлинения, относительного сужения, ударной вязкости, частоты колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемую заготовку, частотой собственных колебаний заготовки, плотности дислокаций, величины блоков мозаики, доли остаточного аустенита, сил резания.

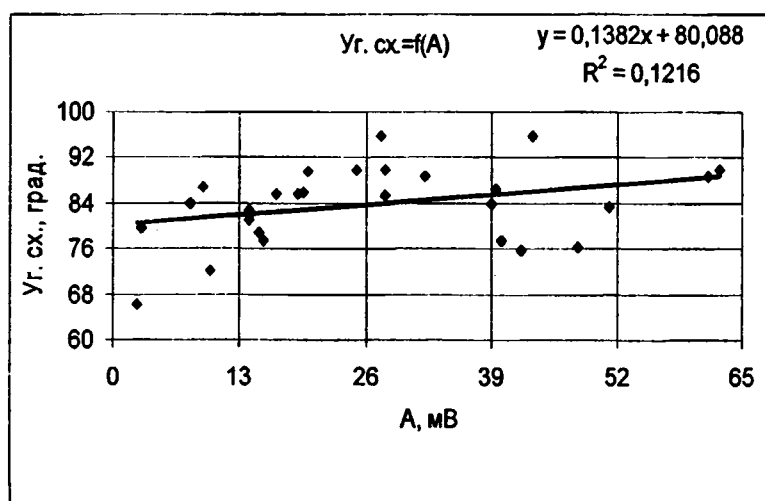


Рис. 2. График зависимости величины угла схода стружки от амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, без учета влияния режимов термообработки

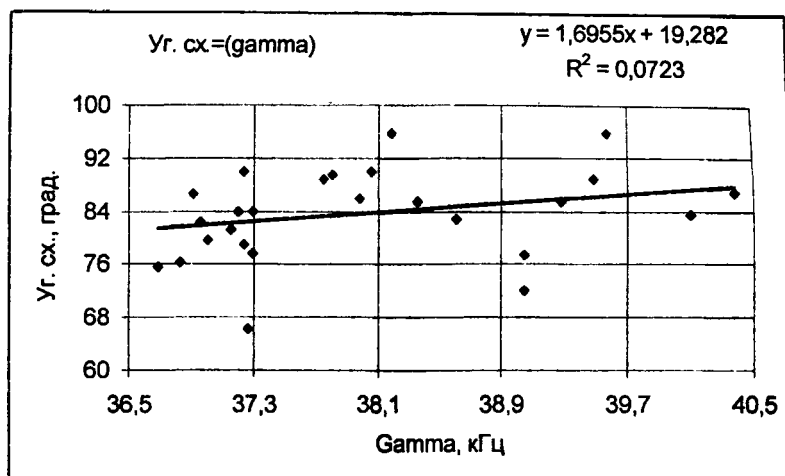


Рис. 3. График зависимости угла схода стружки от частоты собственных колебаний заготовки

Для сравнения показаны графики зависимости угла схода стружки от амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, и частоты собственных колебаний заготовки для всей совокупности термических обработок.

Как видно из представленных рисунков, с увеличением амплитуды колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, наблюдается тенденция к возрастанию величины угла схода стружки. Аналогичное влияние на величину угла схода стружки оказывают относительное сужение, ударная вязкость, частота собственных колебаний заготовки.

С увеличением твердости и относительного удлинения, наоборот, величина угла схода стружки имеет тенденцию к уменьшению.

Вместе с тем, необходимо отметить, что парные взаимодействия „угол схода стружки - твердость“, „угол схода стружки - предел прочности“, „угол схода стружки - величина блоков мозаики“, „угол схода стружки - % остаточного аустенита“, „угол схода стружки - R_x “, „угол схода стружки - R_y “, „угол схода стружки - R_z “, „угол схода стружки - R “, „угол схода стружки - износ резца“ весьма слабые и реальной информации из них получить затруднительно.

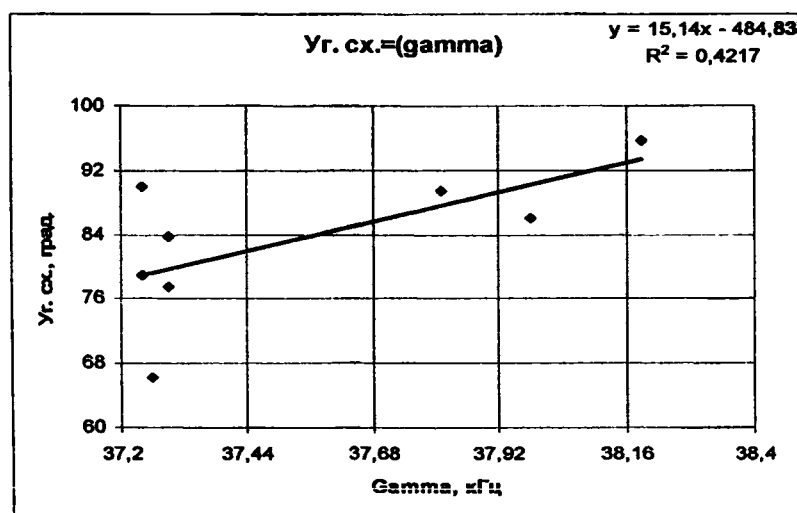


Рис. 4. Зависимость величины угла схода стружки от частоты собственных колебаний заготовки для первого режима термической обработки (охлаждение вместе с печью до температуры 500°C, а затем – на спокойном воздухе)

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Физические и тепловые процессы в технологических системах. – Мн.: Выш. школа, 1990. – 511 с.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СБОРНЫХ ТОРЦОВЫХ ФРЕЗ
ДИАМЕТРОМ 125 И 160 ММ ПРИ ОБРАБОТКЕ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ
ТРАКТОРА МТЗ НА СТАНКАХ С ЧПУ**

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Конструкции современных высокопроизводительных торцовых фрез для обработки конструкционных сталей и чугунов отличает использование в качестве режущей части высокопрочных и износостойких твердосплавных сменных неперетачиваемых пластин (СНП), простых и надежных способов крепления и регулирования пластин или кассет, специальной геометрии режущей части, обеспечивающей стружкодробление и уменьшение сил резания (позитивная геометрия - положительный главный передний угол), зачистных пластин, что позволяет использовать инструмент как для чернового, так и для чистового фрезерования. Радиальное, тангенциальное или торцевое расположение пластин в корпусе расширяет технологические возможности фрез и позволяет упростить технологию их изготовления [1-5].

Эксплуатационные возможности современных торцовых фрез в некоторых случаях превосходят возможности оборудования эксплуатируемого на производстве, что выражается в нехватки мощности и жесткости при работе на допустимых режимах фрезерования. В связи с этим при использовании фрез большое значение имеет правильно выбранный шаг зубьев (крупный, нормальный или мелкий), форма, расположение и способ крепления пластин, главный угол в плане, направление фрезерования. Также наметилась тенденция уменьшения диаметра инструмента с использованием методов многопроходной обработки на станках с ЧПУ, что приводит к уменьшению энергозатрат и склонности к вибрациям при резании, в сочетании с оптимальным использованием ресурса инструмента.

На практике при обработке корпусных деталей из чугуна при схожих условиях обработки применяются разнообразные торцовые фрезы, отличающиеся конструкцией (числом зубьев, формой, геометрией пластин и инструмента в целом) и параметрами режима резания, что было рассмотрено на примере обработки детали - 80-1701025-А «Корпус» трактора «Белорус».

Для оценки работоспособности сборных торцовых фрез использовать общепринятый критерий - заданную величину допустимого износа, не представляется возможным. Этот критерий носит детерминированный характер и не учитывает особенности конструкции и специфику работы, этого многолезвийный инструмент, все зубья которого участвуют в процессе резания и в равной степени влияют на общую стойкость. Разброс механических свойств, состояния поверхностного слоя, припуска на обработку у заготовок, качества пластин и параметров точности их установки в гнезда корпуса фрезы, жесткости системы СПИД, параметров режима резания приводят к случайному разбросу величин износа граней, либо поломке отдельных зубьев инструмента. На производстве часто используются технологические критерии смены инструмента, такие как параметры точности обработки, допустимая шероховатость, а также такие показатели (в том числе и субъективные), как характерный шум, вибрации станка, замена других инструментов наладки, перерыв на обед.

Высокая стоимость и стохастический характер процессов, приводящих к разрушению торцовых фрез, приводят к необходимости принятия такого критерия смены, который бы позволил максимально использовать ресурс этих инструментов в конкретных производственных условиях.

В случае обработки серого чугуна твердосплавными торцовыми фрезами допустимый износ h_z составляет: $h_z = 1,5...2,0$ мм [6, табл.30, с.55]; $h_z = 0,8...1,5$ мм [7, табл. 22, с. 231]; $h_z = 1,4...1,8$ мм [8, с. 194].

Стойкость фрез определяется в зависимости от их конструкции, диаметра и материала обрабатываемого изделия: $T=150..180$ мин [6,табл.32, с.61]; $T=120$ мин [7,табл.22 с.230]; $T=150..250$ мин [8, с.121].

Как видим, различные нормативы дают отличную друг от друга информацию, как по допустимому износу, так и по стойкости. Поэтому для точного определения нормы расхода инструмента является целесообразным установить фактические пределы его износа, исходя из конкретных условий, имеющих место при выполнении данной операции.

Для торцовых фрез с СНП нет объективных критериев замены и износа. Не исследовались параметры работоспособности современных конструкций торцовых фрез на рекомендуемых производителями режимах резания и режимах реально применяемых на производстве.

В связи с этим встают задачи по выявлению причин замены, исследованию состояния рабочих граней и закономерностей рассеивания величин износа высокопроизводительных торцовых фрез в момент съема со станка, а также по определению критерия смены этого многолезвийного инструмента, учитывающего наличие случайных факторов характерных для процесса обработки деталей на производстве.

Такие исследования уже проводились на Минском тракторном заводе, на участке механообработки «Корпуса сцепления» № 70-1601015. Материал обрабатываемой детали - серый чугун марки СЧ20 с твердостью 170...240 НВ. Обработка плоскостей производилась торцовыми фрезами с СНП диаметром 315мм (количеством зубьев $z=24$ и $z=40$) на продольно-фрезерных станках ГФ 1979, встроенных в автоматическую линию[9].

На данном этапе для исследования работоспособности и эффективности использования были выбраны высокопроизводительные торцовые фрезы с СНП фирмы «Iscar» Ø160 мм (рис.1,а) и «Walter» Ø125 мм (рис.1,б, в) для черновой и чистовой обработки плоскостей в деталях из серого чугуна. Выбранные фрезы предназначены для выполнения похожих переходов, но существенно отличаются конструктивно и параметрами режима резания.

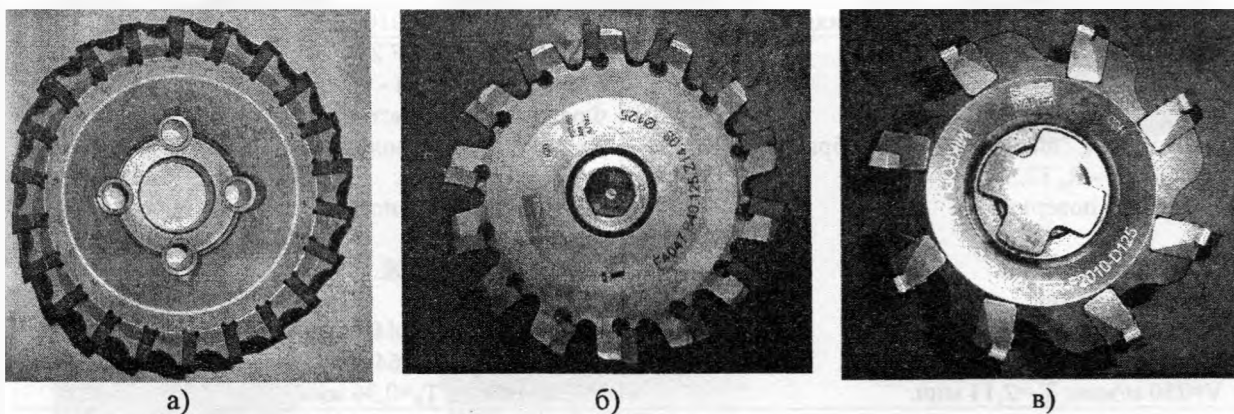


Рис. 1. Фрезы торцовые:

- а) Ø160 F45-WGD160-22-40-FX-R08 «Iscar»; б) Ø125 F4047.B40.125.Z14.08 «Walter»;
в) Ø125 F2010.B.125Z08.06 R720M «Walter»

Исследования проводились на участке механообработки в цехе малых серий (ЦМС) - деталь- 80-1701025-А «Корпус». Материал обрабатываемой детали - серый чугун марки СЧ25 ГОСТ 1412-85 с твердостью 170...241 НВ. Код по ISO – 08.2. Обработка плоскостей проводится торцовыми фрезами $D=160$ мм фирмы «Iscar». Фреза- F45 WGD160-22-40-FX-R08 с МНП ONMU 080608-TN. Количество граней-8. Количество рабочих граней -16 (двухсторонняя). Угол в плане $\varphi=45^\circ$ ($44^\circ 3'$). Передний угол – отрицательный. Марка сплава – ic 4100. Область применения по ISO – K05- K20.

Таблица 1 – Характеристики операции механообработки в ЦМС

Операция 020	Операция 030
Станок – ИС800ПМФ4. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - черновое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - R_a 12.5. Структура поверхности - песчаные включения. Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=2.0...3.0$ мм; $S=1400$ мм/мин; $L_{p.x}=6300$ мм; $n=400$ мин ⁻¹ ; $V=200$ м/мин; $T_o=4,5$ мин.	Станок – CWK 630 “Heckert. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - чистовое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности – R_a 3.2. Структура поверхности - предварительно обработана. Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=0.5...1.0$ мм; $S=1400$ мм/мин; $L_{p.x}=6200$ мм; $n=400$ мин ⁻¹ ; $V=200$ м/мин; $T_o=4,43$ мин.

Аналогичные исследования проводились на участке механообработки в механическом цехе 1 (МЦ-1) - деталь- 80-1701025-А «Корпус». Материал обрабатываемой детали - серый чугун марки СЧ25 ГОСТ 1412-85 с твердостью 170...241 НВ. Код по ISO – 08.2. Обработка плоскостей проводится торцовыми фрезами $D=125$ мм фирмы “Walter”. Фреза F4047.B.40.125.Z14.08 с МНП SNMX 120512-F27 (черновая фреза). Количество граней-4. Количество рабочих граней -8 (двухсторонняя). Угол в плане $\phi=75^\circ$. Передний угол – отрицательный. Марка сплава – WKP25 . Область применения по ISO – K15- K35. Фреза F2010.B.125.Z08.06 R720M с ЧНП SNGX 1205-ANN-F57 (чистовая фреза). Количество граней-4. Количество рабочих граней -8 (двухсторонняя). Угол в плане $\phi=45^\circ$. Передний угол – отрицательный. Марка сплава – WKP25 . Область применения по ISO – K05- K25.

Таблица 2 – Характеристики операции механообработки в МЦ-1

Операция 010 (предварительная обработка)	Операция 010 (чистовая обработка)
Станок – SAS TCF 2.6. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - черновое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - R_a 12.5. Структура поверхности - литье. Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=2...3$ мм; $i=2$; $S=2229$ мм/мин; $L_{p.x}=2355 \times 2$ мм; $n=637$ мин ⁻¹ ; $V=250$ м/мин; $T_o=2,11$ мин.	Станок – SAS TCF 2.6. Вид фрезерования - торцовое. Фрезерование - чистовое. Допустимая шероховатость обработанной поверхности - R_a 3.2. Структура поверхности – предварительно обработана. Охлаждение - СОЖ. Режимы резания: $t=0.6$ мм; $i=1$; $S=2446$ мм/мин; $L_{p.x}=2355$ мм; $n=764$ мин ⁻¹ ; $V=300$ м/мин; $T_o=0,96$ мин.

В ходе исследований работоспособности торцовых фрез $\varnothing 160$ «Iscar» в ЦМС выявлены следующие причины замены инструментов:

Операция 020. Фрезерование черновое:

- визуальный контроль за износом пластины;
- ухудшение шероховатости обработанной поверхности R_a 12.5 (появление глубоких зарезов).

Операция 030. Фрезерование чистовое:

- ухудшение шероховатости обработанной поверхности R_a 3.2;
- плановая замена через ≈ 50 деталей.

В ходе исследований работоспособности торцовых фрез $\varnothing 125$ «Walter» в МЦ-1 выявлены следующие причины замены:

Операция 010. Фрезерование черновое: плановая замена через 17 деталей

Операция 010. Фрезерование чистовое: плановая замена через 50 деталей.

Характерные виды повреждения пластин торцовых фрез, в момент съема со станка представлены на рис. 2.

Анализ состояния инструмента показал, что преобладающим видом повреждения режущих граней является износ по задней поверхности (рис. 3, 4). На черновых операциях встречаются режущие грани со следами выкрашивания и сколами, что является характерным подтверждением физики процесса разрушения поверхностного слоя твердосплавной пластины в условиях прерывистое резание, когда прилагаемая к режущей кромке нагрузка постоянно изменяется. При наличии в поверхностном слое детали песчаных включений проявляется интенсивный абразивный износ, и стойкость пластин значительно падает, иногда в 3-4 раза. Анализ взаимного влияния состояния режущих граней торцовых фрез показал, что поломка зуба приводит к повышенному износу следующих за ним зубьев, что связано с увеличением толщины снимаемого слоя металла и нагрузки на зуб.

За время проведения испытаний ни один корпус торцовой фрезы не был поврежден в результате скалывания режущей грани пластины.

Так как в ходе исследований выявлено, что наиболее характерным видом повреждения режущих граней пластин торцовых фрез в момент съема со станка является износ по задней поверхности, то были проведены измерения величин этого износа h_z (рис. 2,б).

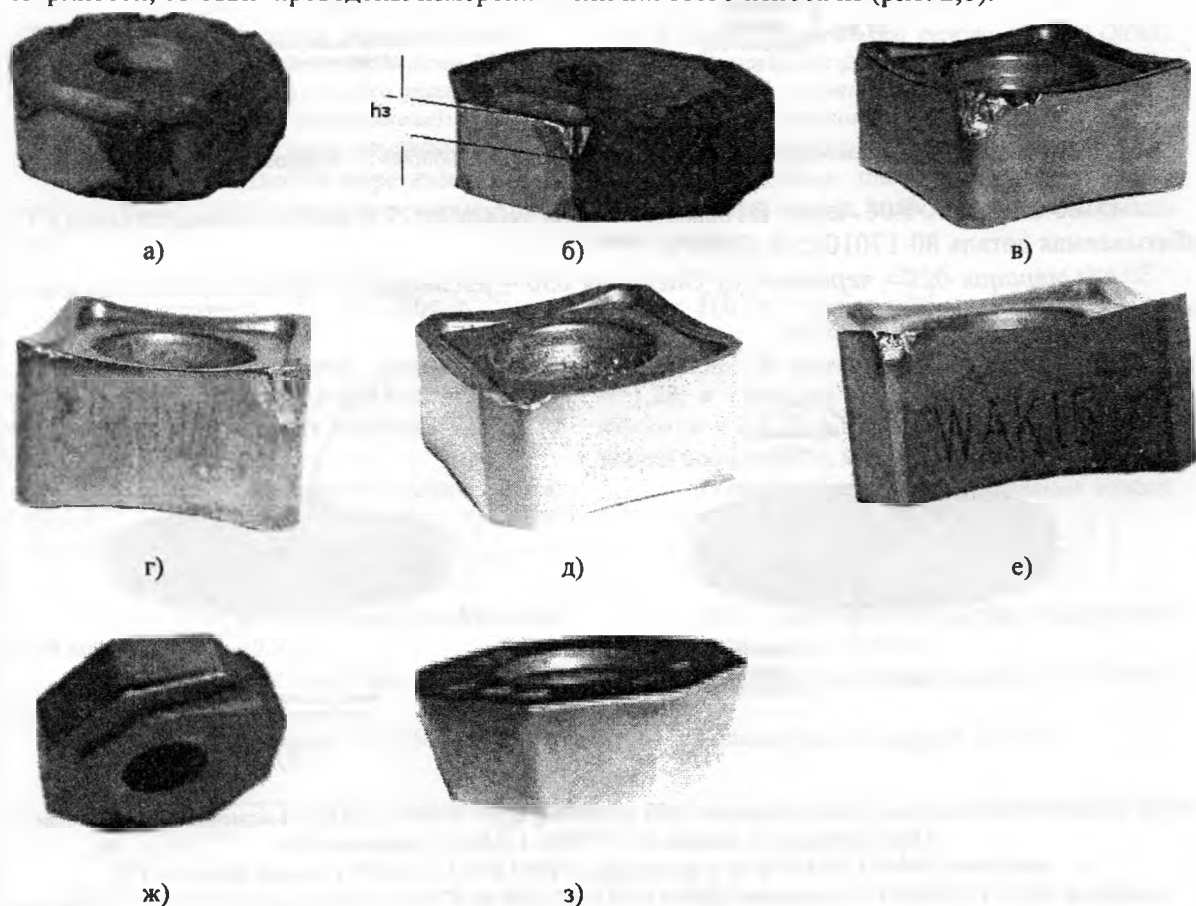


Рис. 2. Виды повреждений СМП торцовых фрез:

а) пластина ONMU 080608-TN - абразивный износ (черновая операция); б) пластина ONMU 080608-TN - нормальный износ по задней поверхности (чистовая операция); в) пластина SNMX 120512-F27 - выкрашивание режущей кромки (черновая операция); г) пластина SNMX 120512-F27 - абразивный износ (черновая операция); д) пластина SNGX 1205ANN-F67 - нормальный износ по задней поверхности со сколом (чистовая операция); е) пластина SNGX 1205ANN-F67 - нормальный износ (чистовая операция); ж) пластина ONHU 0806AN-N-W (зачистная) - нормальный износ (чистовая операция); з) пластина ODHX 0605ZZN-A57 (зачистная) - нормальный износ (чистовая операция)

Измерения выполнялись при помощи лупы Бринелля со шкалой, имеющей цену деления 0,05 мм.

Количество измерений:

- операция 020 пластина ONMU 080608-TN – 1760;
- операция 030 пластина ONMU 080608-TN – 1600;
- операция 030 пластина ONHU 0806AN-N-W – 160;
- операция 010 пластина SNMX 120512-F27 – 2016;
- операция 010 пластина SNGX 1205ANN-F67 – 1008;
- операция 010 пластина ODHX 0605ZZN-A57 (зачистная) – 288.

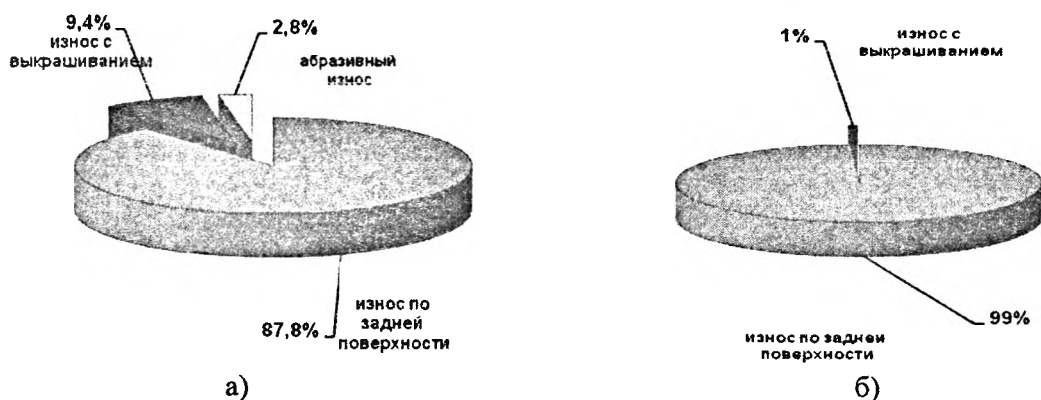


Рис. 3. Характер повреждения режущих граней ЧНП ONMU 080608-TN торцовых фрез F45WG

D160-22-40-FX-R08 'Iscar' Ø160мм с числом зубьев $z=22$ в момент съема со станка. Обрабатываемая деталь 80-1701025-A (ЦМС):

а) Операция 020 - черновая; б) Операция 030 – чистовая, $z=22$ ($20+2$) (две зачистные пластины ONHU 0806AN-N-W)

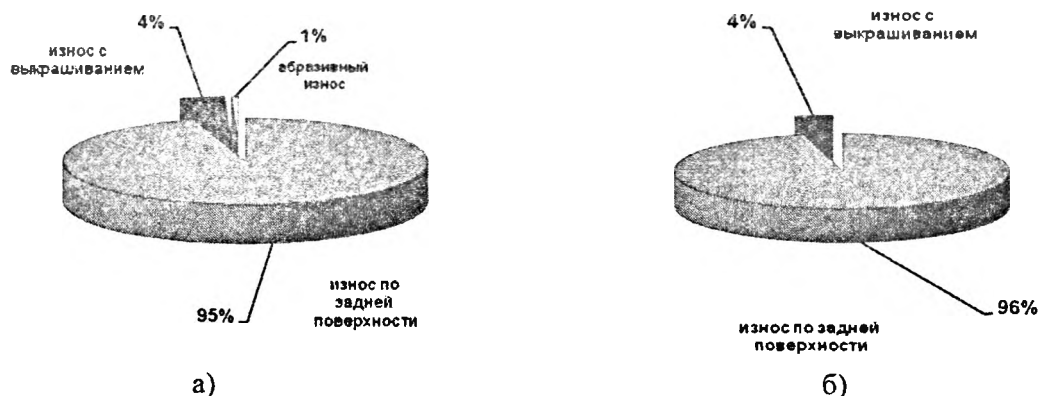


Рис. 4. Характер повреждения режущих граней ЧНП торцовых фрез 'Walter' Ø125мм в момент съема со станка.

Обрабатываемая деталь 80-1701025-A (МЦ-1). Операция 010:

а – пластины SNMX 120512-F27 торцовых фрез F4047.B40.125.Z14.08 с числом зубьев $z=14$;

б – пластины SNGX 1205ANN-F67 торцовых фрез F2010.B.125.Z08.06 R720M с числом зубьев $z=8$ ($7+1$) (одна зачистная пластина)

В ходе замеров величин износа ЧНП сборных торцовых фрез в производственных условиях была получена совокупность результатов измерений. Для проведения статистического анализа была произведена обработка результатов: группирование, построение гистограмм износа в программе Excel.

В результате статистической обработки полученных данных построены эмпирические и поставлены им в соответствии теоретические законы распределения величин износа пластин торцовых фрез (рис. 5, 6), произведено сопоставления функции теоретического и эмпирического распределения износа режущих граней по критерию Колмогорова λ (рис. 7, 8) при помощи программы разработанной в среде программирования Mathcad [10-12].

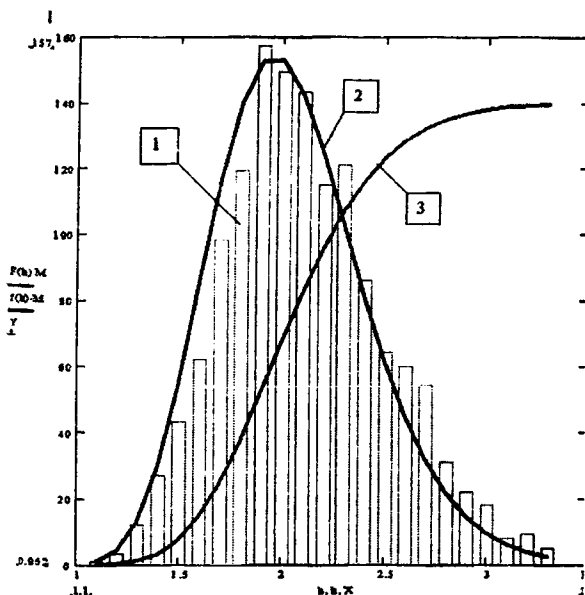


Рис. 5. Распределение износа режущих граней ONMU080608-TN торцовых фрез диаметром 160 мм и числом зубьев $z=22$ в момент съема со станка (операция 020 – черновое фрезерование):

1 – гистограмма износа пластин;
2 – кривая плотности теоретического распределения износа, подчиняющаяся нормальному закону;

$$f(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}} = 1,026e^{-\frac{(h-2,1)^2}{0,303}},$$

где m – статистическое среднее износа; $m=2,1$; σ – среднее квадратическое отклонение износа; $\sigma = 0,389$; h – текущее значение износа по задней поверхности, мм;

3 – график функции распределения износа:

$$F(h) = F_0\left(\frac{h-m}{\sigma}\right) = F_0\left(\frac{h-2,1}{0,389}\right),$$

где F_0 – функция табуляции; коэффициент парной корреляции $r=0,938$;

M – коэффициент масштаба (на графике):

$M=40$.

Количество измерений: $n=1760$.

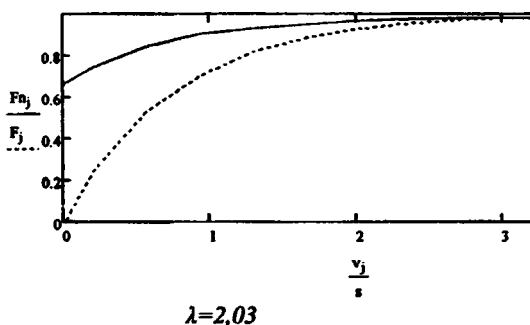


Рис. 7. Сопоставление функции эмпирического F_{n_j} и теоретического F_j распределения износа режущих граней ШП ONMU080608-TN (черновая фреза), подчиняющихся нормальному закону распределения

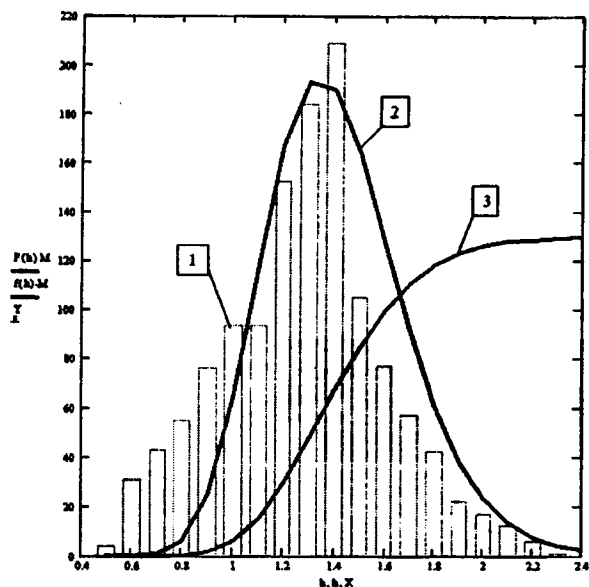


Рис. 6. Распределение износа режущих граней ONMU080608-TN торцовых фрез диаметром 160 мм и числом зубьев $z=22$ в момент съема со станка (операция 030 – чистовое фрезерование):

1 – гистограмма износа пластин;
2 – кривая плотности теоретического распределения износа, подчиняющаяся нормальному закону;

$$f(h) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(h-m)^2}{2\sigma^2}} = 1,069e^{-\frac{(h-1,28)^2}{0,278}},$$

где m – статистическое среднее износа; $m=1,28$; σ – среднее квадратическое отклонение износа; $\sigma = 0,373$; h – текущее значение износа по задней поверхности, мм;

3 – график функции распределения износа:

$$F(h) = F_0\left(\frac{h-m}{\sigma}\right) = F_0\left(\frac{h-1,28}{0,373}\right),$$

где F_0 – функция табуляции; коэффициент парной корреляции $r=0,92$;

M – коэффициент масштаба (на графике):

$M=30$;

Количество измерений: $n=1600$.

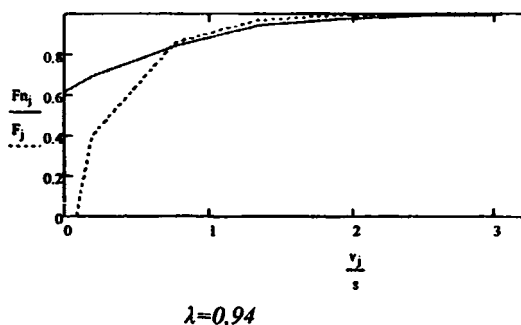


Рис. 8. Сопоставление функции эмпирического F_{n_j} и теоретического F_j распределения износа режущих граней МП ONMU080608-TN (чистовая фреза), подчиняющихся нормальному закону распределения

В результате было выявлено, что величины износа имеют большой разброс значений у черновых сборных торцовых фрез с МНП с числом зубьев 22 от 1,2 до 3,3 мм; с числом зубьев 14 от 0,3 до 2,1 мм.

Анализ полученных зависимостей показал, что рассеивание износа зубьев торцовых фрез, по задней поверхности в момент съема со станка, наилучшим образом описывается нормальным, логнормальным и законом Вейбулла.

При анализе влияния износа пластин по задней поверхности на размерную стойкость h_p (мм), при черновой обработке, была использована формула [13]:

$$h_p = \frac{h_z}{\left[\frac{1}{\tan(\alpha)} - \tan(\gamma) \right] \cdot \left[\frac{1}{\tan(\varphi)} + \frac{1}{\tan(\varphi_1)} \right] \cdot \sin(\varphi)},$$

где h_z - износ по задней поверхности, мм; α - задний угол фрезы, град; γ - передний угол фрезы, град;

φ - главный угол в плане, град; φ_1 - вспомогательный угол в плане, град.

Для черновой фрезы F45 WGD160-22-40-FX-R08 'Iscar' с пластиной ONMU080608-TN она составила:

$$h_p = \frac{2,1}{\left[\frac{1}{\tan(-8^\circ)} - \tan(-5^\circ) \right] \cdot \left[\frac{1}{\tan(44,3^\circ)} + \frac{1}{\tan(0,7^\circ)} \right] \cdot \sin(44,3^\circ)} = 5,7 \cdot 10^{-3} \text{ мм.}$$

а для фрезы F4047.B40.125.Z14.08 'Walter' с пластиной SNMX 120512-F27:

$$h_p = \frac{0,76}{\left[\frac{1}{\tan(-6^\circ)} - \tan(-5^\circ) \right] \cdot \left[\frac{1}{\tan(75^\circ)} + \frac{1}{\tan(15^\circ)} \right] \cdot \sin(75^\circ)} = 0,02 \text{ мм.}$$

Как видно износ по задней поверхности пластин торцовых фрез не оказывает существенного влияния на размеры обрабатываемой детали. Таким образом, одним из путей повышения производительности и стойкости торцовых фрез, применяемых на черновых операциях может быть увеличение толщины пластин.

С целью получения объективной оценки работоспособности был произведен расчет объема снимаемого металла за период стойкости фрезы:

- Фактический средний период стойкости составляет для черновых фрез F45WG D160-22-40-FX-R08 'Iscar' $T=102$ мин. ($L=142\,800$ мм; $Q=450$ см³/мин), а для чистовых – $T=230$ мин ($L=322\,000$ мм; $Q=225$ см³/мин).

- Объем металла, снимаемого фрезами за период стойкости:

- $Q_{T1}=45900$ см³; $Q_{T2}=51750$ см³

- Фактический средний период стойкости для черновых фрез F4047.B40.125.Z14.08 'Walter' составляет $T=35$ мин. ($L=71\,330$ мм; $Q=835$ см³/мин), а для чистовых F2010.B.125.Z08.06 R720M 'Walter' – $T=48$ мин. ($L=117\,410$ мм; $Q=305$ см³/мин)

- Объем металла, снимаемого фрезами за период стойкости:

- $Q_{T1}=29225$ см³; $Q_{T2}=14640$ см³

- Стойкость черновых фрез фирмы 'Iscar' выраженная в минутах резания в 2.9 раза выше, чем стойкость фрез фирмы 'Walter'. Однако работоспособность фрез 'Iscar' выраженная в объеме снимаемой стружки выше, чем у фрез 'Walter' всего в 1.57 раза.

Стойкость чистовых фрез фирмы 'Iscar' выраженная в минутах резания в 4.79 раза выше, чем стойкость фрез фирмы 'Walter'. Однако работоспособность фрез 'Iscar' выраженная в объеме снимаемой стружки выше, чем у фрез 'Walter' всего в 3.53 раза.

В целом показатели работоспособности фрез фирмы 'Iscar' выше, в связи с тем, что эти инструменты оснащены большим количеством зубьев по сравнению с фрезами фирмы 'Walter', что уменьшает нагрузку на режущее лезвие, а также из-за менее жесткого регламента по условиям эксплуатации выраженного в большем допустимом износе.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- Основной причиной выхода из строя пластин является износ по задней поверхности.

- При черновой обработке существует выкрашивание (около 10% для ONMU 080608-TN и 5% для SNMX 120512-F27) из-за прерывистого процесса резания и низкого качества обрабатываемой поверхности.

- Наблюдается взаимное влияние работы режущих граней - при выкрашивании пластины, следующая пластина имеет большую величину износа.

- Величина износа при черновом фрезеровании ограничивается толщиной пластины и ухудшением шероховатости обработанной поверхности (остаются глубокие резцы). При чистовой обработке - качеством обрабатываемой поверхности.

- Среднее значение износа для пластин ONMU 080608-TN на операции 020 (черновое фрезерование) - $h_{cp}=2,1$ мм, на операции 030 (чистовое фрезерование) - $h_{cp}=1,28$ мм.

- Среднее значение износа для пластин SNMX 120512-F27 на операции 010 (черновое фрезерование) - $h_{cp}=0,76$ мм, для SNGX 1205ANN-F67 (чистовое фрезерование) - $h_{cp}=0,47$ мм.

- Разброс значений величины среднего износа можно отнести в первую очередь к выбранной стратегии эксплуатации инструментов. Для фрез фирмы 'Walter' установлен строгий регламент по замене инструмента, что в целом повышает стабильность работы инструмента, но не дает максимально использовать его ресурс.

- Анализ полученных зависимостей показал, что рассеивание износа торцовых фрез по задней поверхности в момент съема со станка наилучшим образом описывается нормальным и логнормальным и законом Вейбулла (при возрастании числа поломок режущих граней).

- В результате проведенных исследований можно сделать следующий вывод, что износ отдельных граней фрез не может быть использован в качестве оценки состояния всего инструмента. В качестве критерия работоспособности такого инструмента может быть принят комплексный критерий, представляющий вероятностную оценку распределения износа всех режущих граней фрезы, учитывающий также долю режущих граней внезапно отказавших из-за поломок.

- Однако при стабильных условиях эксплуатации в качестве размерного критерия выхода из строя торцовых фрез можно принять величину среднего износа зуба фрезы при одном обороте на длине активного участка резания.

- Одним из путей повышения работоспособности можно предложить использование режущего инструмента с пластиной большей толщины, что должно увеличить их ресурс и повысить производительность, так как размерная стойкость, под которой понимают способность инструмента обеспечивать получение деталей с определенной точностью, не оказывает существенного влияния на изменение размеров детали.

- На операции 030 при использовании фрезы F45WG D160-22-40-FX-R08 'Iscar', можно предложить раздельную смену пластин, как это производится для фрез F2010.B.125.Z08.06 R720M 'Walter'. После того, как фреза обрабатывает 25 деталей, заменяется режущая кромка зачистной пластины, а черновые остаются неизменными, и фреза обрабатывает еще 25 деталей, после чего уже сменяются все режущие грани фрезы.

- Большое влияние на стойкость режущих пластин и разброс показаний износа граней оказывает состояние поверхности обрабатываемого материала. И одним из немаловажных факторов является улучшение поставляемых заготовок, что с большей долей вероятности позволит прогнозировать стойкость режущих инструментов и позволит уменьшить разброс значений износа.

• Общую оценку показателей работоспособности фрез следует давать не только по времени резания за период стойкости, но и по объему стружки снимаемой за это время.

Таким образом, результаты работы могут быть использованы для прогнозирования стойкости торцовых фрез при производственных испытаниях, при нормировании расхода, а также при разработке мероприятий по увеличению надежности инструментов на этапе проектирования и эксплуатации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Каталог "Sandvik Coromant". 2008, ил. 2. Каталог "Isca" – «Вращающиеся инструменты». 2008, ил. 3. Каталог "Walter". 2008, ил. 4. Каталог "Ingersoll" – "Milling 2009", ил. 5. Каталог "Pramet" – "Фрезерование 2006", ил. 6. Типовые нормы износа и стойкости режущего инструмента / Руководящий материал / Государственный комитет совета министров СССР по автоматизации и машиностроению. Научно исследовательский институт технологии автомобильной промышленности – НИИТАВТОПРОМ- Москва, 1961. 7. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В.И. Баранчиков, А.В. Жаринов, Н.Д. Юдина и др.; Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение- 1990.- 472с. 8. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник: В 2-х т.:Т.1/ А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин, В.А. Батуев и др.- М.: Машиностроение- 1991- 640 с. 9. Ажар А.В., Грошева А.И., Ермоленко А.А. Исследование состояния рабочих граней твердосплавных пластин торцовых фрез на производстве в момент съема со станка. Машиностроение – Мн., 2005 – Вып. 21 – с.49 - 54. 10. ГОСТ 11.006-74. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. – Введ. 20.12.1974. – М. ВНИИС: Всесоюзный научно-исследовательский институт стандартизации, 1974. – 24 с. 11. ГОСТ 11.007-75. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла. – Введ. 05.09.1975.– М.: Госстандарт СССР, 1975. – 30 с. 12. ГОСТ 11.004-74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения. - Введ. 21.02.1974.– М.: Госстандарт СССР, 1974. – 20 с. 13. Ящерицын П.И. Теория резания: учеб./ П.И. Ящерицын, Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Мн.: Новое знание, 2005. -512с. ил.

УДК 621.9.011:517.962.1

Туромша В.И., Довнар С.С., Туми Эль-Мабрук Абужафер Али

ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕСТКОСТИ ПРОДОЛЬНО-ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА С ПОДВИЖНЫМ ПОРТАЛОМ С ПОМОЩЬЮ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Исследование производилось путем компьютерного численно-математического моделирования методом конечных элементов (МКЭ) [1-3]. Моделированию подлежала несущая система нового продольно-фрезерного станка завода МЗОР с подвижным порталом (т.н. типа «Гентри»). П-образный портал (рис.1) состоит из двух вертикальных колонн высотой 1,1 м и горизонтальной траверсы длиной 3,6 м, неподвижно соединенных друг с другом.

Каждая колонна через рельсовые направляющие качения опирается на свою станину. Под колонной на двух рельсах находится 6 опор качения с номинальной жесткостью $j_0=2800$ Н/мкм. Давление колонны станина длиной 9 м передает двум рядам фундаментных башмаков. Башмаки расположены через 500 мм. Как показали заводские испытания, каждый башмак имеет жесткость $j_6=110$ Н/мкм.

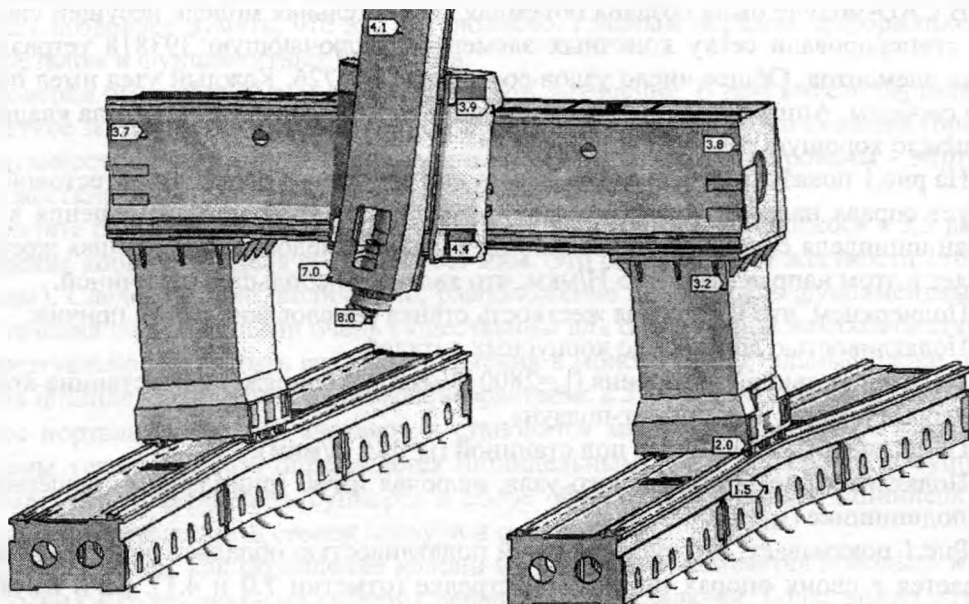


Рис. 1. Картина поперечных перемещений (отметки в мм) несущей системы станка (сила 1000 Н приложена к концу шпинделя влево)

Перемещение портала по станинам будем называть далее продольным движением. По траверсе поперечно по двум рельсовым направляющим на 6 опорах качения перемещается суппорт. На суппорте размещены вертикальные направляющие качения. По ним на 4-х опорах вертикально движется ползун. Вылет ползуна вниз за опоры может достигать 0,9 м при собственной длине ползуна 2,15 м. На нижнем конце ползуна смонтирован шпиндельный узел.

Все описанные базовые детали несущей системы станка имеют коробчатую форму с развитым внутренним оребрением. Особенностью конструкции является то, что она выполнена сварной из стального проката. Для дальнейших расчетов было принято, что сталь имеет модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа и коэффициент Пуассона $\mu = 0,3$.

Стальной шпиндель имеет диаметры опорных шеек 100...114 мм и межопорное расстояние 350 мм. Передней опорой служит двухрядный роликовый подшипник с номинальной радиальной жесткостью $j_{п1} = 3300$ Н/мм. Осевые усилия воспринимает двухрядный радиально-упорный шарикоподшипник с углом контакта 60° и с жесткостью $j_{п2} = 1500$ Н/мм. В задней опоре находится двойной радиально-упорный подшипник с жесткостью $j_{п3} = 3000$ Н/мм.

Внутри портала размещается неподвижный стол с заготовкой. Он имеет отдельный фундамент и в данной модели не рассматривается.

Целью работы являлось выявление жесткости именно несущей системы станка. Поэтому все ее части считались неподвижными относительно друг друга. Податливость приводов подач не учитывалась. Опоры качения полагались «приклеенными» к своим рельсам.

Деформационные перемещения в несущей системе выявляли путем приложения к концу шпинделя тестового усилия 1000 Н. Усилие действовало по очереди в продольном, поперечном и вертикальном направлениях. Расчет производился в статической постановке. Поведение всех частей системы считалось чисто упругим и полностью линейным. На всех поверхностях сопряжения деталей средствами МКЭ формировались контактные пары из специальных конечных элементов. Относительные перемещения во всех парах были запрещены. Соответственно, отсутствовало трение скольжения.

Опоры качения и фундаментные башмаки были представлены геометрическими телами упрощенной формы. Модули упругости этих тел подбирались в ходе предварительных тестовых расчетов так, чтобы обеспечить указанные выше жесткости j_0 и j_6 .

Сила тяжести к модели станка не прикладывалась. В линейной постановке она не влияет жесткость несущей системы.

В CAD-модуле была создана объемная твердотельная модель несущей системы станка. По ней сгенерировали сетку конечных элементов, включающую 393818 тетраэдральных 10-узельных элементов. Общее число узлов составляло 803726. Каждый узел имел по 3 линейных степени свободы. Аппроксимация перемещений в конечных элементах была квадратичной, что обеспечивало хорошую точность расчетов.

На рис.1 показаны деформации станка под действием поперечной тестовой силы 1000 Н (действует справа налево). Числовые отметки означают упругие перемещения в мкм. Видно, что конец шпинделя сместился поперечно на 8,0 мкм. Следовательно, общая жесткость станка составляет в этом направлении 125 Н/мкм, что является небольшой величиной.

Подчеркнем, что невысокая жесткость станка обусловлена рядом причин:

1. Податливостью собственно корпусных деталей.
2. Податливостью опор качения ($j_0=2800$ Н/мкм) на сопряжениях «станина-колонна», «траверса-суппорт» и «суппорт-ползун».
3. Податливостью башмаков под станиной ($j_6=110$ Н/мкм).
4. Податливостью шпиндельного узла, включая изгиб шпинделя и смещение в переднем подшипнике ($j_{п1}=3300$ Н/мкм).

Рис.1 показывает, что существенной податливостью обладает ползун. Он не только поворачивается в своих опорах по часовой стрелке (отметки 7.0 и 4.1), но и изгибается, теряя прямолинейность. Вместе с ползуном, но в меньшей степени, подвергается перекосу суппорт относительно траверсы (отметки 4.4 и 3.9).

Портал теряет прямоугольность и перекашивается против часовой стрелки (рис.1). Поперечное смещение траверсы составляет 3,7-3,8 мкм. Визуально податливыми оказываются станины (боковой изгиб под колоннами до 1,5 мкм). Фундаментные башмаки слабо поддерживают прямолинейность станин.

Жёсткость и вклад в общую деформацию отдельных частей несущей системы можно приближенно оценить по следующей методике. Надо пройти по цепочке отметок 8,0 – 4,4 – 3,8 – 2,0 – 1,5 – 0 мкм на рис.1. Каждая отметка соответствует характерному перемещению какого-либо базового узла станка. Разность между соседними отметками будет оценкой деформационного перемещения внутри данного узла. Результаты соответствующих расчетов сведены в табл. 1.

Таблица 1 – Деформации и жесткости базовых узлов станка в поперечном направлении

	Базовый узел станка	Внутреннее деформационное перемещение, мкм	Доля в общем перемещении	Приложенная сила, Н	Жесткость, Н/мкм
1	Шпиндельный узел и ползун с опорами	3,6	45%	1000	278
2	Суппорт с опорами	0,6	8%	1000	1667
3	Портал с опорами	2,3	29%	1000	435
4	Станина с башмаками	1,5	19%	500	333
5	Портал (без опор; часть пункта 3)	1,8	23%	1000	556
6	Суппорт в сборе (пункты 1 и 2)	4,2	53%	1000	238

Под термином «суппорт в сборе» будет подразумевать шпиндельный узел, ползун и суппорт с опорами. Именно суппорт в сборе более чем наполовину отвечает за податливость несущей системы (его жесткость составляет только 238 Н/мкм). Внутри суппорта в сборе податливость обусловлена в основном ползуном и шпиндельным узлом. Их совокупная жесткость 278 Н/мкм, а доля в общей деформации станка – 45%.

Податливость портала также велика (обеспечивает 29% общего перемещения). Однако картина на рис.1 позволяет думать, что это обусловлено, главным образом, деформацией опор качения под порталом и фундаментных башмаков.

Для проверки было выполнено специальное МКЭ-решение. В нем вместо башмаков было введено жесткое закрепление оснований станин. Кроме того, была резко снижена (примерно в 20 раз) податливость опор качения под колоннами. Они были заблокированы - виртуально превращены в жесткие стальные блоки между колоннами и станинами.

В результате перемещения портала упали до 1,1 мкм (снижение перегиба в 3,5 раз). Поперечное смещение конца шпинделя составило 5,4 мкм. Это соответствует жесткости 196 Н/мкм (рост в 1,57 раза). Следовательно, количество, расположение и жесткость фундаментных башмаков и опор качения под колоннами очень существенны для обеспечения жесткости станка.

Если виртуально превратить все опоры качения в монолитные стальные блоки (рис. 2), то жесткость на шпинделе составит 263 Н/мкм (возрастание в 2,1 раза по сравнению с рис. 1).

Перегиб портала снижается вчетверо и становится малозначительным. Податливость несущей системы теперь на 76% определяется шпиндельным узлом, ползуном и суппортом. Рис.2 показывает, что податливость суппорта в сборе обусловлена изгибом шпинделя в подшипниках, а также деформациями стенок ползуна и суппорта.

Собственно портал, как скрепление колонн и траверсы, оказывается довольно жестким ($J_{порт}=1110 \text{ Н/мкм}$). Его усиление не является первостепенной задачей. Более важна оптимизация опор качения и башмаков под порталом.

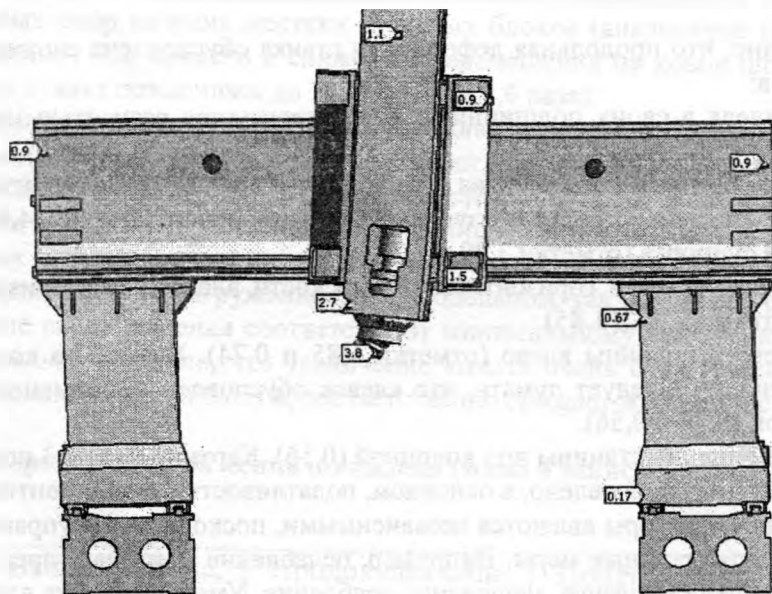


Рис. 2. Поперечные перемещения портала станка после блокирования деформаций в опорах качения и фундаментных башмаках

На рис.3 представлена картина перемещений в станке при приложении силы 1000 Н к концу шпинделя в продольном направлении (справа налево).

Опоры качения и фундаментные башмаки здесь опять имеют реалистичные, относительно невысокие жесткости.

Перемещение конца шпинделя составило 6,92 мкм, что соответствует общей продольной жесткости станка 145 Н/мкм. С одной стороны, это небольшая жесткость. С другой стороны, она близка к поперечной жесткости. Постоянство жесткости во всех направлениях горизонтальной плоскости благоприятно для динамики станка.

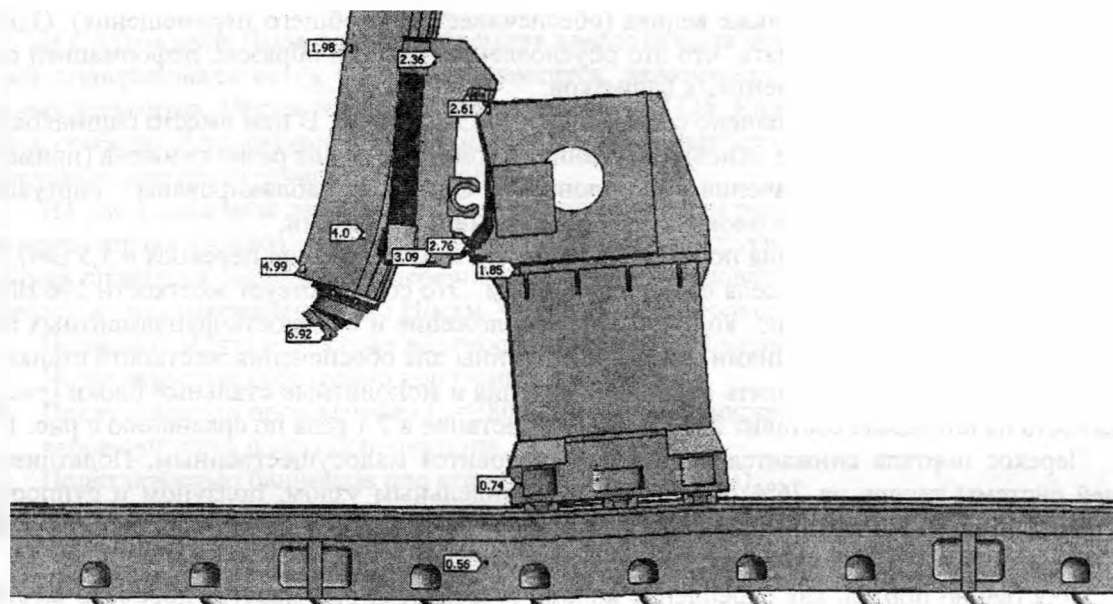


Рис.3. Картина продольных перемещений в несущей системе станка
(сила 1000 Н приложена к концу шпинделя влево)

Из рис.3 видно, что продольная деформация станка обусловлена сложением набора независимых факторов:

- 1 Изгиб шпинделя в своих подшипниках (характеризуется разностью между отметками 6,92 и 4,99).
- 2 Перемещение ползуна. Слагается из изгиба нижнего конца ползуна (отметки 4,99 и 4,0) и поворота по часовой стрелке ползуна с деформацией опор качения (4,0 и 3,09).
- 3 Деформация суппорта (отметки 3,09 и 2,76).
- 4 Изгиб траверсы (идет в горизонтальной плоскости влево, характеризуется разностью между отметками 2,76 и 1,85).
- 5 Наклон (клевок) колонны влево (отметки 1,85 и 0,74). Визуально колонна сохраняет прямолинейность. Следует думать, что клевок обусловлен деформацией опор качения под колонной (0,74 и 0,56).
- 6 Локальное смещение станины под колонной (0,56). Картина на рис.3 позволяет считать, что это смещение обусловлено, в основном, податливостью фундаментных башмаков.

Перечисленные факторы являются независимыми, поскольку для управления ими нужны независимые конструктивные меры. Например, ослабление фактора 2 предполагает увеличение поперечного сечения ползуна, улучшение оребрения. Уменьшение же влияния фактора 5 возможно путем разнесения опор качения под колонной на большее расстояние в продольном направлении.

Вклад каждого из перечисленных факторов в деформацию станка оценен в табл.2.

Из табл. 2 следует, что суппорт в сборе и в продольном направлении является самым податливым узлом. Его жесткость составляет только 240 Н/мкм.

Для усиления суппорта в сборе одинаково важно как повысить жесткость шпиндельного узла (вклад в общее перемещение 28%), так и понизить податливость ползуна в опорах (вклад 27%). Это самые податливые узлы станка.

Отметим, что жесткость шпиндельного узла по табл.2 составила 518 Н/мкм, в то время как жесткость переднего подшипника взята в расчетах равной 3300 Н/мкм. Следовательно, в конструкции шпиндельного узла должны существовать большие резервы для повышения жесткости.

Траверса станка (фактор 4) оказывается достаточно жесткой – 1099 Н/мкм. Общее ее усиление полезно, но является задачей второго плана. Важнее усилить траверсу местно, возле поперечных направляющих. Это показали локальные наблюдения за картиной деформации станка. Аналогично, суппорт в целом является жестким узлом, но желательно усилить его фланцы в местах крепления опор качения.

Таблица 2 – Деформации и жесткости базовых узлов станка в продольном направлении

	Базовый узел станка	Внутреннее деформационное перемещение, мкм	Доля в общем перемещении	Приложенная сила, Н	Жесткость, Н/мкм
1	Шпиндельный узел	1,93	28%	1000	518
2	Ползун с опорами	1,9	27%	1000	526
3	Суппорт с опорами	0,33	5%	1000	3030
4	Траверса	0,91	13%	1000	1099
5	Колонна с опорами	1,29	19%	500	388
6	Станина с башмаками	0,56	8%	500	893
7	Суппорт в сборе (пункты 1-3)	4,16	60%	1000	240

Решение на рис.3 было модифицировано жестким закреплением станин и введением вместо податливых опор качения жестких стальных блоков (аналогично нагружению в поперечном направлении). Это привело к снижению перемещения на конце шпинделя до 4,3 мкм. Общая жесткость станка повысилась до 233 Н/мкм (в 1,6 раза).

Блокирование фундаментных башмаков и опор качения подавляют движение портала как жесткого целого. Клевки колонны почти исчезают (0,4 мкм), а жесткость колонны составляет 1250 Н/мкм. Самым податливым узлом станка остается суппорт в сборе (вклад 74% в общее перемещение). Он нуждается в усилении (как в шпиндельном узле, так и в ползуне). Конструкция же корпусных деталей портала является достаточно жесткой. Ее усиление не актуально.

Эти выводы касаются нагружения как в продольном, так и в поперечном направлении.

Описанные выше решения соответствуют минимальному вылету ползуна вниз из суппорта. Моделирование показало, что увеличение вылета очень существенно поднимает перемещение на конце шпинделя (табл.3) и, соответственно снижает жесткость станка (рис.4).

Таблица 3 – Перемещение на конце шпинделя (мкм) в зависимости от вылета ползуна

Вылет ползуна, мм	Продольная сила 1000 Н	Поперечная сила 1000 Н
0	6,9	8
400	13,4	13
800	24,2	21,6

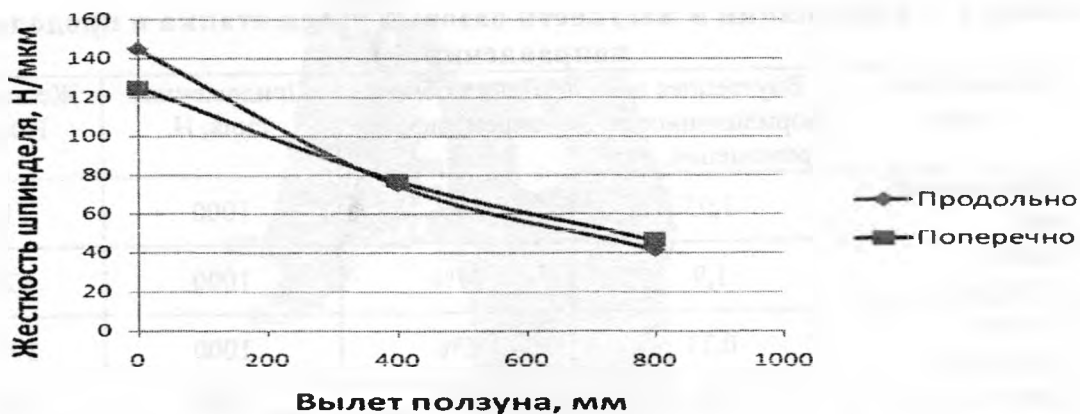


Рис. 4. Зависимость жесткости шпинделя от вылета ползуна

Ползун при большом вылете подвергается сильному изгибу (рис.5).

Решение относится к вылету 800 мм при неблокированных опорах качения и фундаментных башмаках. При этом деформации портала, станины и даже шпиндельного узла визуально теряются на фоне ставшего податливым ползуна.

Это относится как к продольному, так и к поперечному направлениям. При вылете 800 мм общая жесткость снижается 2,7-3,5 раз. Изгиб ползуна перекрывает все остальные факторы податливости станка. Получается, что обработка на больших вылетах ползуна опасна вибрациями и возбуждением автоколебаний. Противостоять этому следует, во-первых, усиливая ползун. Например, можно придавать ему форму равнопрочной балки (через переменные сечения и фасонные развитые ребра жесткости).

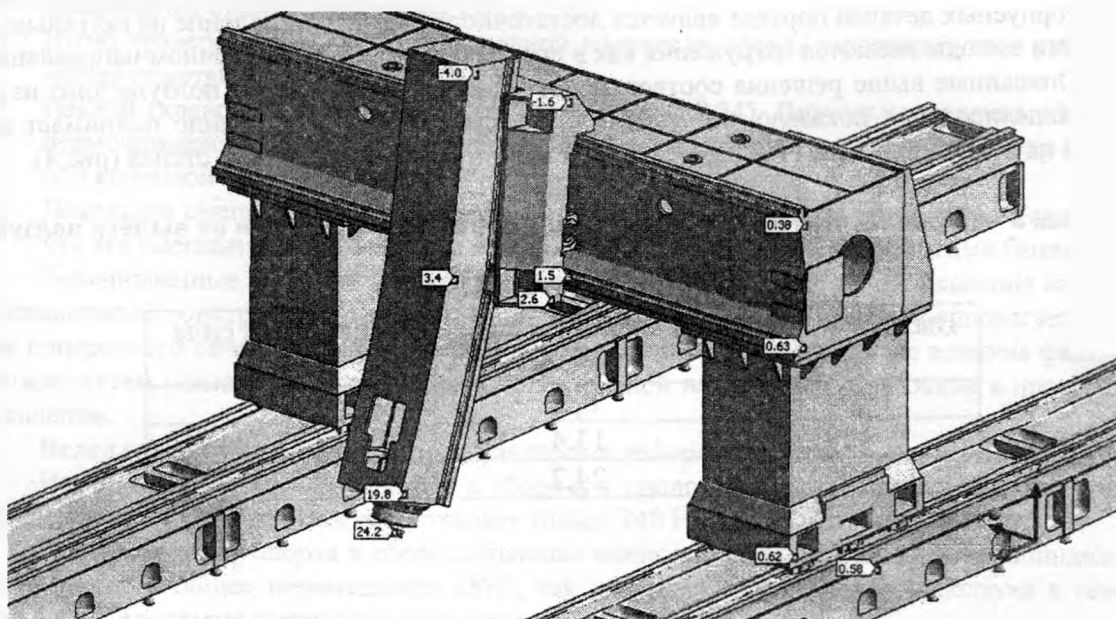


Рис. 5. Продольные перемещения станка при вылете ползуна вниз на 800 мм

Во-вторых, можно ограничить вылет шпинделя. Для сохранения технологических возможностей станка следует сделать подвижной траверсу. Как показало выше МКЭ-моделирование, траверса обладает гораздо большей жесткостью, чем ползун.

Было смоделировано также поведение станка под действием вертикальной силы 1000 Н (рис.6, сила действует вверх).

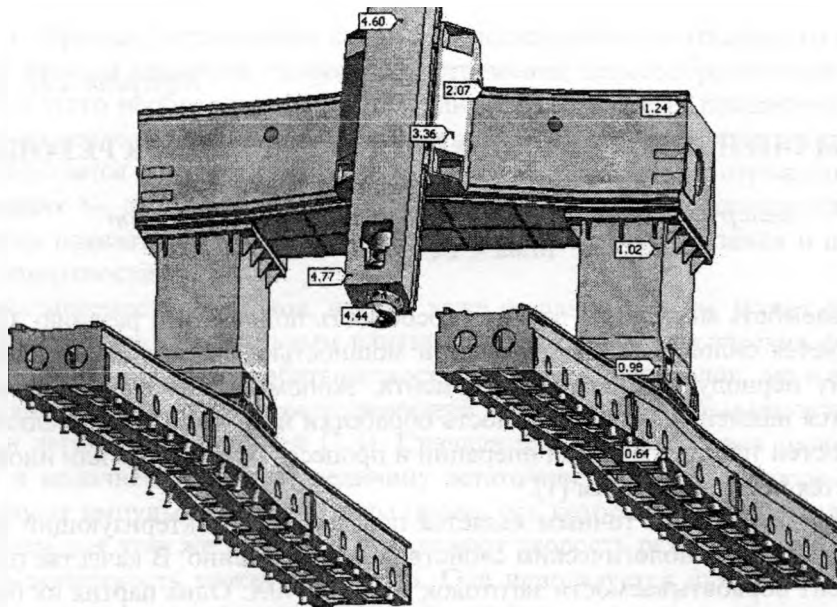


Рис.6. Картина вертикальных перемещений несущей системы станка (сила 1000 Н приложена к концу шпинделя вверх)

Общая жесткость станка составила 225 Н/мкм. Это почти вдвое больше, чем при нагружении в горизонтальной плоскости. Вылет ползуна слабо влияет на вертикальное перемещение. Следовательно, ползун вполне жесток вдоль своей оси.

Вертикальное перемещение довольно равномерно распределено по узлам станка. На долю шпинделя с ползуном приходится 24% перемещения, суппорта с опорами -29%, траверсы – 19%, колонны с опорами и станины с башмаками – по 14%. При этом жесткость собственно колонны без опор составляет 1920 Н/мкм, а траверсы – 1205 Н/мкм. Это еще раз говорит о неплохой собственной жесткости крупных корпусных деталей станка.

Большой вылет ползуна при вертикальном направлении создает косвенную проблему – перемещение конца шпинделя вперед, в продольном направлении. Это связано с эксцентричностью нагрузки и поворотом ползуна и суппорта вокруг оси траверсы. Так, при вылете ползуна 800 мм конец шпинделя одновременно смещается вверх на 4,4 мкм и вперед (на наблюдателя - рис.6) на 3,0 мкм.

Выводы:

1. Общая жесткость станка в продольном и поперечном направлениях мала и составляет 125-145 Н/мкм.
2. Малая жесткость станка обусловлена в первую очередь деформациями в узле «суппорт в сборе». Здесь велики податливости в нижнем конце ползуна и в шпиндельном узле.
3. Жесткость портала, как неподвижного соединения колонн и траверсы, достаточна и превышает во всех направлениях 1200 Н/мкм.
4. Портал склонен к перекосам и клевкам. Ответственность за это несут опоры качения под колоннами и фундаментные башмаки под станинами. Их количество, жесткость и расположение должны быть оптимизированы.
5. Выдвижение ползуна вниз приводит к очень сильному падению общей жесткости станка (до 41 Н/мкм при вылете 800 мм). Во избежание вибраций и возбуждения автоколебаний изгибную жесткость ползуна следует существенно поднять. Можно отказаться от больших вылетов ползуна и перейти к подвижной траверсе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Станки с числовым программным управлением (специализированные)/ Под ред. В.А.Лещенко. – М.:Машиностроение, 1988. – 568 с.
2. Зенквич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 539 с.
3. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 640 с.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОБРАБАТЫВАЕМОСТИ ЗАГОТОВОК РЕЗАНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Обрабатываемость металлов – это их способность поддаваться резанию. Обрабатываемость характеризуется силой резания, требуемой мощностью, скоростью резания, соответствующей заданному периоду стойкости инструмента, экономической скоростью резания, при которой достигается наименьшая себестоимость обработки и другими показателями. В зависимости от особенностей технологической операции и процесса резания тот или иной единичный показатель считается преобладающим [1].

Более информативным и точным является показатель, характеризующий обрабатываемость по двум или более технологическим свойствам одновременно. В качестве примера определяли коэффициент обрабатываемости заготовок из стали 40Х. Одна партия их была подвергнута отжигу при температуре 720°C, а другая, принятая за эталон, обработана ковкой. В результате точения заготовок из первой партии получили зависимости силы резания P_z , шероховатости обработанной поверхности и скорости резания V при определенной стойкости инструмента T :

$$P_z = C_p S^{y_p}, R_z = C_R S^{y_R}, V_T = C_V S^{-y_V}$$

при $y_p = 0,75$; $y_R = 1,333$; $y_V = 0,66$.

При определенной подаче для исследуемого материала получено: $P_z = 2150$ Н, $R_z = 48$ мкм, $V_T = 36,9$ м/мин. Для тех же условий для эталонного материала $P_z = 2000$ Н, $R_z = 36$ мкм, $V_{T_3} = 36,9$ м/мин. Если в качестве показателя обрабатываемости принять отношение $K = V_T / V_{T_3}$, то обрабатываемость заготовок обеих партий следует считать одинаковой.

Найдем относительную обрабатываемость заготовок, пользуясь комплексным коэффициентом [2]:

$$K_0 = \frac{V_T}{V_{T_3}} \Pi \left(\frac{F_{i_2}}{F_i} \right)^{\frac{1-y_V}{y_{P_z}}}, \quad (1)$$

Где V_T и V_{T_3} – скорость резания исследуемого и эталонного материалов соответственно для одного и того же периода стойкости инструмента; F_i и F_{i_2} – единичный показатель обрабатываемости исследуемого и эталонного материалов; y_V и y_{P_z} – показатели степени.

Значения комплексного показателя обрабатываемости по V_T и P_z :

$$K'_0 = \frac{V_T}{V_{T_3}} \Pi \left(\frac{F_{i_2}}{F_i} \right)^{\frac{1-y_V}{y_{P_z}}} = 1 \times \left(\frac{2000}{2150} \right)^{\frac{1-0,66}{0,75}} = 0,97.$$

Аналогично определены комплексные показатели $K''_0 = 0,93$ по V_T и R_z , а также $K'''_0 = 0,9$ по V_T , P_z и R_z . Следовательно, можно считать, что с учетом силы резания обрабатываемость второй партии заготовок по уровню скорости резания V_T в 1,03 раза ниже обрабатываемости заготовок из первой партии. С учетом шероховатости обработанной поверхности она ниже в 1,07 раза, а вместе с обоими дополнительными факторами ниже в 1,1 раза.

Таким образом, соотношение скоростей исследуемого и эталонного материалов, соответствующих равным периодам стойкости инструмента, целесообразно определять по зависимости (1). Для этого необходимо найти значения других важных показателей обрабатываемости при резании исследуемого и эталонного материалов при различных значениях подач. В результате определяется комплексный показатель обрабатываемости, отражающий тот факт, что скорости резания V_T для исследуемого и эталонного материалов сопоставляются при равных уровнях других показателей обрабатываемости, например, силы резания и шероховатости обработанной поверхности.

Обрабатываемость заготовок, взятых даже из одной партии, может существенно отличаться, что объясняется значительным влиянием на нее металлургических факторов. Поэтому необходимы способы оценки обрабатываемости не только материалов, но и единичных заготовок. Такими являются способы неразрушающего контроля обрабатываемости заготовок из углеродистых и легированных сталей [3,4]. Сначала для ряда заготовок одного наименования, типоразмера и исполнения находят величину остаточного магнитного поля ΔH_c , для чего на них воздействуют импульсным магнитным полем, ось которого перпендикулярна поверхности заготовки. Затем для этих же заготовок определяют скорость резания V_T и устанавливают корреляционную зависимость между V_T и ΔH_c . Она используется для оценки V_T и управления технологическим процессом по результатам измерения остаточного магнитного поля в поверхностном слое конкретных заготовок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов / П.И. Ящерицын, М.Л. Еременко, Е.Э. Фельдштейн. – Мн.: Выш. шк., 1990. – 512 с.
2. А.С.1564517 СССР. Способ определения коэффициентов обрабатываемости / А.И. Кочергин, Е.Э. Фельдштейн.
3. А.С.1211639 СССР. Способ неразрушающего контроля обрабатываемости заготовок из углеродистых и легированных сталей / Н.В. Овчинникова, А.И. Кочергин, М.А. Мельгуй и др.
4. А.С. 1504572 СССР. Способ контроля обрабатываемости сталей / А.И. Кочергин, Г.И. Беляева, В.Д. Русый и др.

УДК 621.94

Бачанцев А.И., Королько С.В., Туромша В.И.

ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ПОДАЧИ ДЛЯ СОВРЕМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА И ВЛИЯНИЕ ЕЕ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Понятие эффективности процесса обработки материалов резанием многогранно и определяется неоднозначно, но одним из наиболее используемых показателей, особенно для предварительной обработки, является производительность [1].

Приведенные в литературе [2],[3],[4] различные методики назначения параметров режима резания решают задачу повышения производительности. Однако используемые в них алгоритмы решения задачи не позволяют достичь максимума производительности при смене как относительно малых, так и больших припусков. Это объясняется несколькими причинами:

- данные методики рекомендуют снимать припуск с максимально большой глубиной резания, вплоть до глубины резания, равной величине припуска [2],[3],[4],[1], но при этом уменьшается численное значение скорости и подачи;

- рекомендуется увеличивать параметры режима резания, например, скорость резания и подачу [5], [10], но не учитывая при этом мощность оборудования.

При наличии ограничения по мощности привода главного движения, алгоритм корректировки первоначально выбранных параметров режима резания предусматривает изменение одного из них (обычно скорости резания) [1], [5].

Черновая обработка для современных методик [10] [9] предусматривает комбинацию больших глубин резания и подач, то есть глубина резания для черновой обработки выбирается максимальной. Если рассматривать проблему повышения производительности предварительной обработки [8], то рекомендовано выбирать максимальную подачу, исходя из требований шероховатости, жесткости и т.д., затем выбирается скорость резания, которая рекомендована для выбранной подачи, а глубина резания остается максимальной. Но во всех без исключения случаях мощность резания определяется теоретически, и затем сравнивается с мощностью имеющегося оборудования.

Тенденция современного станкостроительного производства такова, что станки, специально предназначенные для черновой обработки, уходят с производства. На их смену пришли многоцелевые станки, которые выполняют обработку детали практически полностью, то есть на них выполняется как черновая, так и чистовая обработка.

В 80-х годах [8] уже применялись подачи, которые приближались к значению 1 мм/об, но геометрия пластин оставалась классической – радиус закругления и положительный вспомогательный угол в плане. Такая геометрия обычно оставляла высокую шероховатость, поэтому к началу 2000 года фирма «SANDVIK COROMANT» [5] выпускает сменную пластину для токарной обработки с геометрией, обеспечивающей небольшую зачистную кромку, причем как для черновой, так и для чистовой обработки. Максимальные рекомендованные для черновой обработки подачи с 0,7 мм/об возросли до 1,5 мм/об. Появилось направление - «обработка с большими подачами» [5]. Но как в 80-е годы, так и в настоящее время, для черновой обработки разрабатывались пластины общего назначения для снятия достаточно большого припуска (12 мм и выше), то есть тенденция снятия стружки большого сечения сохранилась. Разница лишь в соотношении глубин резания и подач: для сменных пластин общего назначения $t_{max} = 7-12$ мм, $s_{max} = 0,6 - 0,8$ мм/об; для пластин с зачистной кромкой $t_{max} = 4 - 5$ мм, $s_{max} = 1,1 - 1,5$ мм/об. При работе с максимальными глубинами резания и подачами требуется большая мощность резания, которая может быть больше мощности имеющегося оборудования, что ведет к корректировке режимов обработки как следствие к уменьшению производительности.

Для уменьшения сил резания, а значит и мощности резания, ведущие фирмы по производству инструмента разрабатывают сменные пластины с оригинальной геометрией, так в каталоге фирмы «ISCAR» [9] появляется тангенциальная пластина со специальной геометрией, уменьшающей силы резания и позволяющей увеличить подачу до 2,4 мм/об. Это говорит о том, что вектор изысканий по проблеме увеличения производительности смещается в сторону подачи.

Для оценки влияния на производительность различных подходов к назначению режимов резания рассмотрим вариант обработки детали на станке средней мощности.

В качестве показателя производительности обработки Q [см³/мин] может быть принят объем снятого материала за единицу времени, который равен произведению скорости резания v , подачи s и глубины резания t , т.е.

$$Q = v \times s \times t \quad (1)$$

Проведем сравнительный анализ различных методик назначения параметров режима резания при черновой токарной обработке деталей из углеродистой качественной стали (стали группы V подгруппы 2 [2]). В качестве вариантов рассмотрим методики, изложенные в справочной литературе [2], [4], [7]. Для сравнения возьмем методики фирм «SANDVIK COROMANT» [5] и «ISCAR» [9], а также предлагаемую авторами методику, суть которой изложена в работе [6].

Рассмотрим обработку цилиндрической детали (диаметр детали – 200 мм, длина – 150 мм) из стали 45 (HB=180) на токарном станке с ЧПУ, имеющем мощность привода главного движения $N_{ст}=12$ кВт, коэффициент полезного действия $\eta=0.8$, скорость инструмента при холостом ходе $V_{хх}=5$ м/мин. Инструмент – резец из твердого сплава с углами в плане $\phi=45^\circ$ и $\phi_1=45^\circ$. В соответствии с рекомендациями [1] и [3] период стойкости инструмента принят $T=15$ мин.

Вначале сравним режимы резания по рассматриваемым методикам при снятии припуска 6 мм, который часто встречается при точении заготовок, получаемых ковкой или литьем.

Для базового варианта по рекомендациям справочника [2] припуск рекомендовано снимать за один проход. В этом случае для глубины резания $t = 6$ мм принимаем подачу $s = 0,8$ мм/об и назначаем расчетную скорость резания $v = 167$ м/мин. При таких значениях параметров режима резания мощность резания составит $N = 19,3$ кВт. Для станка с мощностью 10 кВт необходимо сделать перерасчет режима резания. После перерасчета параметры режима резания будут равны: $s = 0,8$ мм/об; $v = 77$ м/мин.

Время обработки одной детали шт [1] определяется по формуле

$$t_{шт} = (L_s + L + L_n) / n * s, \quad (2)$$

где L_s, L, L_n – соответственно длины врезания, обрабатываемой поверхности и перебега; n – частота вращения шпинделя, об/мин.

Получим

$$t_{шт} = (2 + 150 + 2) * 60 / (123 * 0,8) = 94 \text{ с.}$$

Фирма «SANDVIK COROMANT» [5] рекомендует в качестве инструмента квадратную пластинку CNMG160616-MR из твердого сплава 4035 (маркировка по [5]). Для глубины резания $t = 6$ мм, из диапазона рекомендуемых подач принимаем подачу $s = 0,9$ мм/об и скорость резания $v = 122$ м/мин при стойкости инструмента $T = 15$ мин. В этом случае мощность резания составляет $N = 24,4$ кВт. В соответствии с рекомендациями, уменьшаем скорость резания до $v = 70$ м/мин, при которой мощность резания составит – $N = 10$ кВт.

В каталоге фирмы «ISCAR» [9] для глубины резания $t = 6$ мм выбираем тангенциальную пластину LNMX 15 06 16 и марка твердого сплава IC9150. Рекомендуемые параметры режима резания: $s = 1,1$ мм/об. Для того, чтобы мощность не превышала мощность оборудования $N = 10$ кВт принимаем скорость резания $v = 72$ м/мин.

Результаты сравнения методик назначения параметров режима резания по объему снимаемого материала и по $t_{шт}$ показаны на рис. 1.

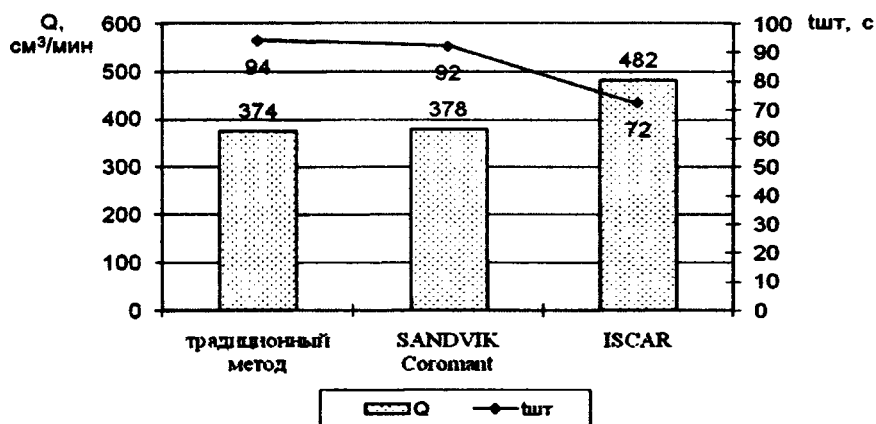


Рис. 1. Сравнение методик назначения режимов резания при точении (при снятии припуска 6 мм) по критериям $Q = V * t * S$ и $t_{шт}$

Таким образом, применение новых пластин «SANDVIK COROMANT» и ISCAR, увеличивают производительность, причем для пластины LNMX 15 06 16 фирмы ISCAR обеспечивают наибольшую производительность за счет оригинальной геометрии, которая уменьшает силы резания, а значит и мощность.

Но в данном случае припуск снимается за один проход. Рассмотрим применение этих же инструментов для снятия того же припуска, но при многопроходной обработке.

По методике, изложенной в работе [6], для глубины резания $t = 2$ мм выбрана максимальная подача $s = 2,1$ мм/об. Расчетная скорость резания при стойкости $T = 15$ мин, равна 113 м/мин. Мощность резания $N = 10$ кВт, что удовлетворяет условию $N \leq 1,3 \eta N_{ст}$ [1].

Фирма «SANDVIK COROMANT» для глубины резания $t=2\text{мм}$ и пластины CNMM 16 06 12 WR из твердого сплава 4035 [7] рекомендует подачу $s=1,2\text{ мм/об}$. А скорость резания выбирается $v=198\text{м/мин}$, которая при данных условиях обеспечивает мощность резания 10 кВт.

Фирма ISCAR [9] с использованием пластины LNMX 15 06 16 для глубины резания $t=2\text{мм}$ предлагает следующие параметры режима резания: подача $s=2,4\text{ мм/об}$, скорость резания $v=120\text{--}300\text{ м/мин}$. Исходя из ограничения по мощности выбираем подачу $s=2,4\text{ мм/об}$, скорость резания $v=133\text{ м/мин}$.

Результаты сравнения производительности на рис. 2.

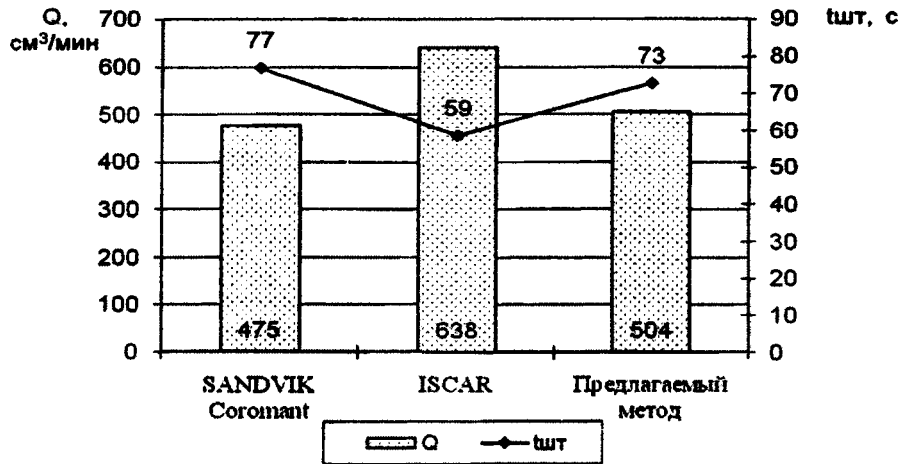


Рис. 2. Сравнение методик назначения режимов резания при точении (при снятии припуска 6 мм за 3 прохода) по критериям $Q=V \cdot t \cdot S$ и $t_{шт}$

На рис. 3 показаны Результаты сравнения производительности при снятии припуска за 2 прохода.

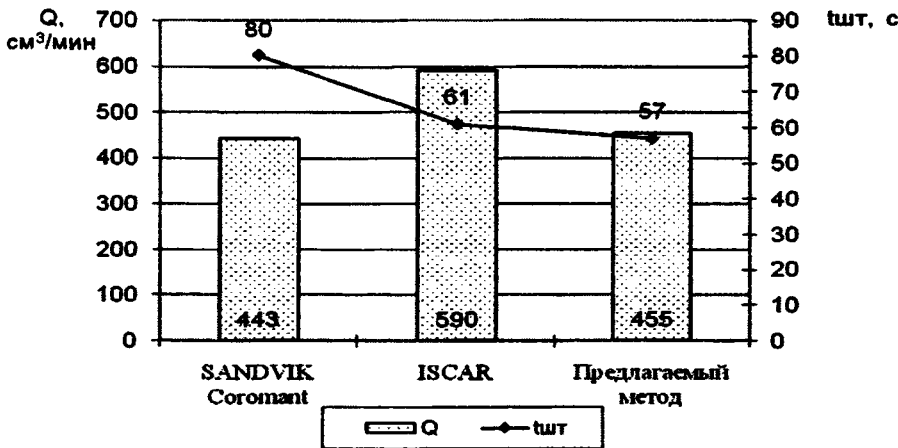


Рис. 3. Сравнение методик назначения режимов резания при точении (при снятии припуска 6 мм за 2 прохода) по критериям $Q=V \cdot t \cdot S$ и $t_{шт}$

Для данного результата следует заметить, что многопроходная обработка является более производительной потому, что при постоянной мощности резания и малых глубинах резания, появляется возможность увеличить подачу. Причем подача в большей степени влияет на производительность, чем глубина резания. В результате увеличивается расчетный объем снимаемой стружки $Q=v \cdot s \cdot t$ и снижается время обработки.

Следует, однако, заметить, что относительно большая подача, которая применяется для стандартных пластин, может явиться причиной значительной шероховатости на обработанной поверхности в виде винтовой поверхности. Но для черновой обработки это является несущест-

венным фактором, поскольку шероховатый слой снимается при чистовых проходах. Более того, данная поверхность способствует дроблению стружки при последующем проходе.

Учитывая изложенное, можно сделать следующие выводы:

1. При назначении параметров режима резания по справочникам и каталогам почти невозможно достичь максимальной производительности, если существует ограничение по мощности имеющегося оборудования.
2. Для обеспечения максимальной производительности при черновой токарной обработке выгоднее работать с увеличенными подачами, как при съеме малого, так и большого припуска с применением многопроходной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын П.И. Еременко М.Л. Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. Для вузов. - Мн.: Выш. Шк., 1990. - 512с. 2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В.И. Баранчиков, А.В. Юдинов и др.; Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. - 400с. 3. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ, Справочник, Л.: Машиностроение, 1990. - 591с. 4. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1986. - 176 с. 5. CoroSeu . Руководство по повышению производительности. Точение – фрезерование - сверление. Каталог SANDVIK COROMANT, 6-е издание 2000. - 216 с. 6. Бачанцев А.И., Туромша В.И. Повышение эффективности обработки на токарных станках с ЧПУ: Машиностроение: Сб. научн. Трудов. Вып. 17. Под ред. И.П. Филонова. - Мн.: УП «Технопринт». 2001. С. 9-15. 7. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. - Т 2. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. - 496с. 8. Каталог SANDVIK COROMANT, токарные резцы. 1986. - 174 с.. 9. Общий каталог ISCAR. 2008. 10. CoroSeu . Просто выбрать легко работать. Точение – фрезерование - сверление. Каталог SANDVIK COROMANT, 2007. - 208 с.

УДК621.9

Ажар А.В., Кочергин А.И., Ратько Е.Ф.

ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ОТВЕРСТИЙ ОСЕВЫМИ ИНСТРУМЕНТАМИ НА ПРИМЕРЕ КОМБИНИРОВАННЫХ ЗЕНКЕРОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

1 Анализ конструкций и области использования комбинированных осевых инструментов

В настоящее время комбинированный осевой инструмент достаточно широко представлен в инструментальной промышленности, что в первую очередь связано с их экономичностью, повышенной производительностью и сокращением времени на замену инструмента. Однако существует ряд причин связанных с особенностями проектирования и эксплуатации таких инструментов, препятствующих расширению их использования на машиностроительных предприятиях Республики Беларусь, к примеру, сложность оптимизации режимов резания и не полное использование ресурса инструмента.

Анализ показал, что чаще всего используются комбинированные инструменты для обработки отверстий с фаской, и отверстий под крепежные винты. Широкое распространение получили многоступенчатые расточные резцовые головки для обработки соосных отверстий в корпусных деталях, т.к. обеспечивается высокая точность обработки поверхности за один установ, что в основном связано с возможностью регулирования вылета инструмента.

В крупносерийном серийном и массовом производстве на агрегатных станках и автоматических линиях в основном применяются цельные осевые инструменты из быстрорежущей стали [1-5].

На современных станках с ЧПУ широко используются высокопроизводительные многоступенчатые сборные инструменты, основным достоинством которых является простота переналадки, универсальность в использовании из-за возможности замены режущей части и смены ее положения, небольшие затраты на проектирование и изготовление.

Фирмами Komet, Iscar, Hertel, Walter, Seco, Sandvik Coromant представлена широкая номенклатура комбинированных инструментов со сменными неперетачиваемыми твердосплавными пластинами, которыми можно обрабатывать разнообразные сложные ступенчатые отверстия (рис.1,а). Широкое распространение получили конструкции с регулируемыми резцовыми вставками (рис. 1, б) [6-10].

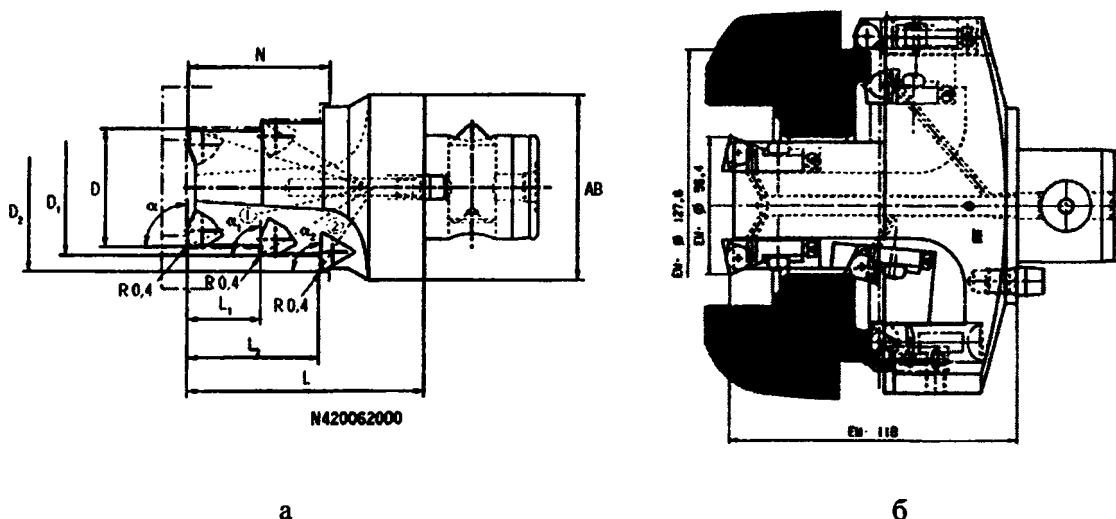


Рис. 1. Комбинированные осевые инструменты фирмы Komet

Одним из путей повышения эффективности использования комбинированных инструментов является параметрическая оптимизация условий резания, улучшение механических свойств и геометрических характеристик режущей части. В этой работе рассмотрена оптимизация режимов резания.

2 Особенности параметрической оптимизации операции механообработки

Параметрическая оптимизация технологического процесса обычно выполняется после выбора структуры перехода и выражается главным образом в определении оптимальных режимов резания (скорости v , подачи s и глубины резания t) с позиций некоторого критерия [11]. К параметрической оптимизации могут быть также отнесены расчеты: по выбору оптимальной геометрии режущего инструмента; по выбору физико-механических свойств режущих инструментов; по определению оптимальных значений припусков и допусков на выполняемые размеры.

Наиболее эффективными являются стоимостные критерии - себестоимость и приведенные затраты, как наиболее полно описывающие материальные и овеществленные затраты на производство.

При разработке системы технических ограничений необходимо учитывать особенности конструкции комбинированного инструмента и условий резания, таких как, характер работы ступеней (одновременная, частично-одновременная, последовательная), функциональное назначение ступеней (элементов) инструмента (однофункциональные, многофункциональные).

Дополнительные ограничения, накладываемые на целевую функцию, связанные с особенностями конструкции и эксплуатации комбинированных инструментов:

- а) Ограничения, связанные с требованием максимального использования ресурса инструмента, т.е. требование равной стойкости.
- б) Либо требования кратной стойкости, в случае возможности раздельной замены ступеней (элементов).
- в) Дополнительные пространственно-временные связи, связанные с условиями входа ступеней в обработку и возможностью регулирования режимами резания от ступени к ступени.
- г) Ограничения, связанные с выбором критерия снятия инструмента в случае использования разнофункциональных элементов.

3 Методика оптимизации режимов эксплуатации двухступенчатых осевых инструментов одного функционального назначения последовательного действия

3.1 Цели и задачи оптимизации

Цель работы: повышения технико-экономических показателей процесса механообработки ступенчатых отверстий комбинированными инструментами путем параметрической оптимизации операции по критерию минимума удельных приведенных затрат с учетом обеспечения максимального ресурса инструмента.

Задачи, которые необходимо решить для выполнения поставленной цели:

- разработка модели параметрической оптимизации комбинированных инструментов с учетом особенностей их конструкции и условий эксплуатации.
- разработка программного обеспечения для нахождения оптимальных режимов резания, с учетом равной или кратной стойкости работы ступеней, для наиболее распространенных осевых двухступенчатых инструментов последовательного действия.
- определение области наиболее рационального применения данной модели и поиск путей ее усовершенствования путем расширения оптимизируемых параметров.

3.2 Особенности модели оптимизации

Рассмотрим модели оптимизации режимов резания двухступенчатых осевых комбинированных инструментов по критерию минимума приведенных затрат с учетом обеспечения максимального ресурса инструмента и дополнительных ограничений на кинематику процесса резания. Ресурс в моделях учтен в виде ограничения на равную или кратную стойкость ступеней инструмента.

Оптимизация условий эксплуатации осуществляется на примере типовых конструкций двухступенчатых зенкеров. Данный инструмент выбран как наиболее используемый при обработке отверстий под крепеж в корпусных деталях.

Целевая функция приведенных затрат в общем виде [12]:

$$C = (\tau_p + \frac{\tau_c}{n_z})E + \frac{I}{n_z}, \quad (1)$$

где τ_p —время рабочего хода; τ_c —время постоя станка;

В случае последовательной обработки:

$$\tau_p = \tau_{p1} + \tau_{p2} + \tau_{ид} + \tau_{ид} = \frac{l_1}{n_1 \cdot S_1} + \frac{l_2}{n_2 \cdot S_2} + \tau_{ид} + \tau_{ид} = \frac{l_1 \cdot S_2 \cdot n_2 + l_2 \cdot S_1 \cdot n_2}{n_1 \cdot n_2 \cdot S_2 \cdot S_1} + \tau_{ид} + \tau_{ид}, \quad (2)$$

где τ_{p1} и τ_{p2} —время работы первой и второй ступеней, соответственно; $\tau_{ид}$ и $\tau_{пер}$ — время недобега и перебега инструмента; E —приведенные затраты на эксплуатацию станка и заработную плату рабочего [13]; I —приведенные затраты, обусловленные эксплуатацией инструмента за один период стойкости инструмента [13]; n_z —число заготовок, обрабатываемых за период стойкости инструмента.

Для случая обработки отверстия двухступенчатым зенкером с заданным распределением припуска между ступенями и возможностью регулирования только скорости резания и подачи условие равной стойкости будет иметь вид:

$$T_1(v_1, S_1) = T_2(v_2, S_2), \quad (3)$$

где v_1, v_2 —соответственно, скорость резания при работе первой и второй ступени инструмента, м/мин; S_1, S_2 —соответственно, подача для первой и второй ступени, мм/об.

При этом следует учесть, что стойкость инструмента может быть выражена:

- в минутах машинного времени, либо в минутах резания;
- в метрах обработанной поверхности;
- числом заготовок (поверхностей), обработанных за период стойкости.

При рассмотрении условия (3) задание стойкости в минутах времени резания неприемлемо. В метрах обработанной поверхности стойкость можно задать только тогда, когда длина резания ступенями инструмента одинакова. В случае неравенства пути резания ступенями инструмента среднюю наработку между отказами следует задавать числом отверстий (поверхностей), обработанных за период стойкости.

При последовательной работе ступеней комбинированного инструмента в зависимости от кинематических возможностей приводов станка возможны следующие варианты кинематических ограничений:

- частота вращения шпинделя может изменяться при переходе от одной ступени обработки к другой: n_1, n_2 —var; подача—величина постоянная: $S_1=S_2$;
- $n_1=n_2$; S_1, S_2 —var;
- n_1, n_2 —var; S_1, S_2 —var;
- $n_1=n_2$; $S_1=S_2$.

3.3 Целевая функция модели оптимизации с учетом ограничения равной стойкости, выраженной количеством обработанных деталей

При задании стойкости числом отверстий (поверхностей), обработанных за период безотказной работы инструмента можно воспользоваться зависимостью, штук [1]:

$$n_z = \frac{L}{l}, \quad (4)$$

$$L = n \cdot S \cdot T \quad (5)$$

где l —длина резания при обработке заготовки, м; n — частота вращения инструмента мин^{-1} ; T — стойкость инструмента, мин.

Рассмотрим общий случай неравенства длин резания, тогда для выравнивания стойкости ступеней следует воспользоваться выражением:

$$\frac{L_1}{l_1} = \frac{L_2}{l_2}, \quad (6)$$

где L_1, L_2 —соответственно стойкость первой и второй ступени инструмента, м;

l_1, l_2 —соответственно длина резания первой и второй ступени, м.

Воспользуемся степенной зависимостью, используемой для описания стойкости осевого инструмента, мин [14]:

$$T = \sqrt[q]{\frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{v \cdot t^x \cdot S^y}}, \quad (7)$$

где v, t, S, D —соответственно скорость резания, м/мин; глубина резания, мм; подача мм/об; диаметр инструмента, мм; C_v —коэффициент, учитывающий отличие конкретных условий работы инструмента от принятых в справочнике за основу; K_v —коэффициент, учитывающий отличие конкретных условий работы инструмента от принятых за основу; x, y, q, m —показатели степени, зависящие от условий обработки.

После подстановки (7) и (5) в (4) и необходимых преобразований получим, что стоимость инструмента:

$$n_z = \frac{1000 \cdot v_1 \cdot S_1}{\pi \cdot D_1 \cdot l_1} \sqrt[m]{\frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{v \cdot t^x \cdot S^y}}, \quad (8)$$

Произведя подстановку (8) и (2) в (1) получим целевую функцию приведенных затрат (9), оптимизируемыми переменными являются подача и скорость резания.

В случае независимого регулирования частоты вращения и подачи каждой ступени n_1, n_2 —var; S_1, S_2 —var появляется возможность наиболее полно использовать ресурс инструмента за счет наиболее рационального выбора режимов обработки. Поскольку в этом случае частота вращения и подача, переменные величины, то на целевую функцию наложим условие равной стойкости (6).

Таким образом, получим:

$$C(v_1, S_1, v_2, S_2) = \left(\frac{\pi (l_2 \cdot D_2 \cdot v_1 \cdot S_1 + l_1 \cdot D_1 \cdot v_2 \cdot S_2)}{1000 \cdot v_1 \cdot S_1 \cdot v_2 \cdot S_2} + A \right) E + B \cdot I, \quad (9)$$

где

$$A = \frac{\tau_c}{\frac{1000 \cdot v_1 \cdot S_1}{\pi \cdot D_1 \cdot l_1} \sqrt[m]{\frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{v \cdot t^x \cdot S^y}}}, \quad B = \frac{1}{\frac{1000 \cdot v_1 \cdot S_1}{\pi \cdot D_1 \cdot l_1} \sqrt[m]{\frac{C_v \cdot D^q \cdot K_v}{v \cdot t^x \cdot S^y}}}.$$

Остальные случаи построения целевой функции будут частными от вышеприведенной.

3.4 Система ограничений накладываемых на целевую функцию оптимизации

Во всех четырех случаях для получения наиболее достоверных результатов предусмотрена система дополнительных ограничений для каждой ступени в отдельности.

1 По осевой силе:

$$C_p \cdot t_1^{xp} \cdot S_1^{yp} \cdot K_p = P_0, \quad C_p \cdot t_1^{xp} \cdot S_1^{yp} \cdot K_p \leq P_d, \quad C_p \cdot t_2^{xp} \cdot S_2^{yp} \cdot K_p \leq P_d,$$

где P_d — сила, допустимая механизмом подачи станка: $P_d=9700$ Н.

2 По кинематике станка:

$$\begin{aligned} S_2 \leq S_{\max}, \quad S_1 \leq S_{\max}, \quad v_1 \leq \frac{n_{\max} \cdot \pi \cdot D_1}{1000}, \quad v_2 \leq \frac{n_{\max} \cdot \pi \cdot D_2}{1000}, \\ S_2 \geq S_{\min}, \quad S_1 \geq S_{\min}, \quad v_1 \geq \frac{n_{\min} \cdot \pi \cdot D_1}{1000}, \quad v_2 \geq \frac{n_{\min} \cdot \pi \cdot D_2}{1000}, \end{aligned}$$

где n_{\max} — максимальная частота вращения шпинделя, допустимая станком: $n_{\max}=2000$ об/мин; n_{\min} — минимальная частота вращения шпинделя, допустимая станком: $n_{\min}=90$ об/мин; S_{\max} — максимальная подача, допустимая станком: $S_{\max}=2$ мм/об; S_{\min} — минимальная подача, допустимая станком: $S_{\min}=0,005$ мм/об.

3 По мощности резания:

$$N_e = \frac{C_m \cdot D^q \cdot t^x \cdot S^y \cdot K_p \cdot 1000 \cdot v}{\pi \cdot D \cdot 975},$$

$$\frac{C_m \cdot D_1^q \cdot t_1^x \cdot S_1^y \cdot K_p \cdot 1000 \cdot v_1}{\pi \cdot D_1 \cdot 975} \leq N_d,$$

$$\frac{C_m \cdot D_2^q \cdot t_2^x \cdot S_2^y \cdot K_p \cdot 1000 \cdot v_2}{\pi \cdot D_2 \cdot 975} \leq N_d,$$

где N_d – мощность привода главного движения станка: $N_d = 7$ кВт.

Ограничение по шероховатости, обрабатываемой поверхности.

В частном случае, при зенкерованиях $Ra < 10$ мкм. Для обеспечения этого условия подача $S < 0.3 \dots 1,6$ мм/об при диаметре инструмента в диапазоне $d = 4 \dots 100$ мм.

4 Примеры параметрической оптимизации режимов резания двухступенчатых зенкеров

Рассмотрим применение предложенной методики на примере наиболее распространенного инструмента зенкера-зенковки для обработки отверстия с фаской и комбинированного зенкера для обработки ступенчатого отверстия (рис. 2).

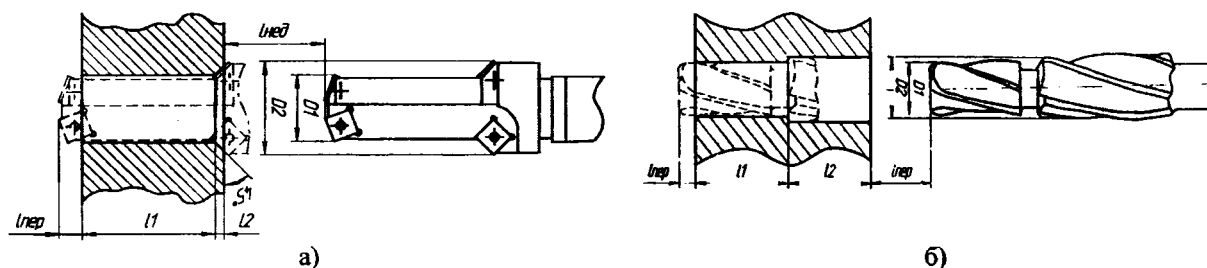


Рис. 2. Эскизы обработки:
а) обработка отверстия с фаской сборным зенкером-зенковкой;
б) обработка ступенчатого отверстия цельным двухступенчатым зенкером

Исходные данные для расчета режимов резания комбинированным инструментом:

Диаметры первой и второй ступени соответственно:

$D_1 = 24,8$ мм; $D_2 = 25,55$ мм.

Глубина резания первой и второй ступени, соответственно:

$t_1 = 1$ мм; $t_2 = 0,4$ мм.

Длины резания первой и второй ступени, соответственно:

$l_1 = 49$ мм; $l_2 = 3,1$ мм или $l_1 = 26,05$ мм; $l_2 = 26,05$ мм.

Время перебега и недобега:

$\tau_{пер} = 0$ мин; $\tau_{нед} = 0$ мин.

Материал режущей части инструмента: быстрорежущая сталь Р6М5 или твердый сплав Т15К6.

Значения коэффициентов и показателей степени в формуле скорости резания при зенкерованиях конструкционных сталей [14, 15]:

$m = 0,3$; $x = 0,2$; $y = 0,5$; $q = 0,3$; $C_v = 16,3$; $K_v = 1$ — для Р6М5;

$m = 0,2$; $x = 0,15$; $y = 0,3$; $q = 0,3$; $C_v = 292$; $K_v = 0,93$ — для Т15К6.

Обрабатываемый материал - чугун СЧ 25 НВ 170..241.

Время простоя станка: $\tau_c = 2,35$ мин.

Приведенные затраты на эксплуатацию станка и заработную плату рабочего: $E = 490$ руб.

Приведённые затраты, обусловленные эксплуатацией инструмента за один период стойкости инструмента: $I = 49$ руб. Результаты оптимизации режимов резания для различных случаев приведем в таблице 1.

Таблица 1 – Оптимальные режимы резания

Быстрорежущая сталь								
Кинематические ограничения	Ступенчатый зенкер $D_1/D_2=0.971 \ l_2/l_1=1$				Зенкер-зенковка $D_1/D_2=0.971 \ l_2/l_1=0.063$			
	V1	S1	V2	S2	V1	S1	V2	S2
Условие равной стойкости: $n_{z1}=n_{z2}$								
$S1=S2; v1, v2\text{-var}$	38,938	0,6	50,591	0,6	14,147	0,6	60	0,6
$S1, S2\text{-var}; v1=v2$	54,764	0,266	56,421	0,6	20	0,6	20,605	84,929
$S1, S2\text{-var}; v1, v2\text{-var}$	44,07	0,6	26,567	0,6	30,49	0,6	60	0,6
$S1=S2; v1=v2$	40,236	0,6	41,453	0,6	33,289	0,6	34,295	0,6
Твердый сплав								
Условие равной стойкости: $n_{z1}=n_{z2}$								
$S1=S2; v1, v2\text{-var}$	96,15	0,8	124,48	0,8	49,409	0,8	160,53	0,8
$S1, S2\text{-var}; v1=v2$	91,2	0,21	132,23	0,8	50,3	0,21	161,2	0,8
$S1, S2\text{-var}; v1, v2\text{-var}$	96,15	0,8	124,48	0,8	49,409	0,8	160,53	0,8
$S1=S2; v1=v2$	98,774	0,8	101,76	0,8	84,342	0,8	86,893	0,8

Оптимизация режимов резания производилась с использованием программы Mathcad методом итерационной минимизации целевой нелинейной функции в соответствии с методикой, представленной в п. 3.

5 Анализ результатов параметрической оптимизации двухступенчатых зенкеров

При помощи разработанного программного обеспечения произведены расчеты приведенных затрат и построены многомерные зависимости связывающие целевую функцию оптимизации с конструктивными параметрами комбинированных инструментов, таких как диаметры и длины ступеней обработки. Расчеты произведены для ступенчатых зенкеров из быстрорежущей стали и твердых сплавов при обработке конструкционных сталей и чугунов. При этом были рассмотрены все четыре случая, определяющие кинематические возможности по регулированию режимов резания ступеней обработки.

Как показал анализ наилучшие результаты по минимизации приведенных затрат в широком диапазоне отношений размеров инструмента были получены при $S1, S2\text{-var}; n1, n2\text{-var}$, материал режущей части T15K6.

Найдем область наиболее рационального использования данной методики при изменении D_1/D_2 и l_2/l_1 , для инструмента из твердого сплава при обработке конструкционной стали (рис. 3). В данном случае видно, что локального минимума приведенных затрат нет. Однако форма поверхности такая, что целевая функция стремится к минимуму $C \rightarrow \min$ при $D_1/D_2 \rightarrow 1$, $l_2/l_1 \rightarrow 1$.

Применение данной методики оптимизации для рассматриваемого случая при $n1, n2\text{-var}; S1, S2\text{-var}$ обосновано в области $D_1/D_2=(0,8...1)$, $l_2/l_1=(0,2...0,8)$.

При большом отношении диаметров ступеней и длин резания оптимизация режимов резания не приводит к уменьшению приведенных затрат и поэтому достаточно ограничится назначением режимов резания по лимитирующей ступени инструмента например для зенкера-зенковки.

Увеличение приведенных затрат при оптимизации в первую очередь связано с наложенными ограничениями по шероховатости и скорости резания, а также обусловленными свойствами материала режущей части инструмента. Большое влияние оказывает система ограничений на подачу, поэтому поиск оптимальной скорости резания приносит лучшие результаты.

Достичь хороших результатов по минимизации приведенных затрат при существующих ограничениях на процесс зенкерования можно регулированием скоростей ступеней и заданием максимальных подач допустимых по критерию шероховатости обработки.

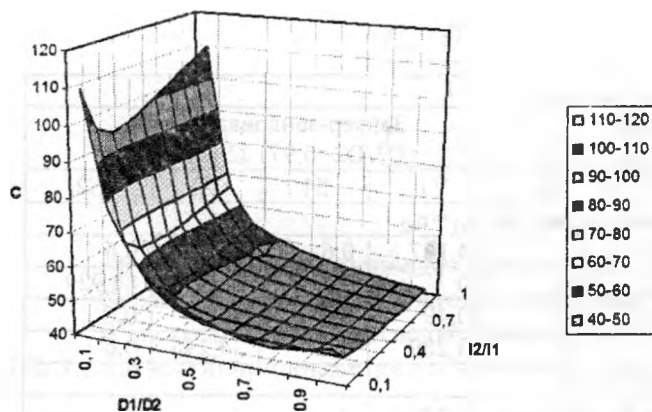


Рис. 3. Приведенные затраты при S_1, S_2 -var; n_1, n_2 -var, материал режущей части T15K6

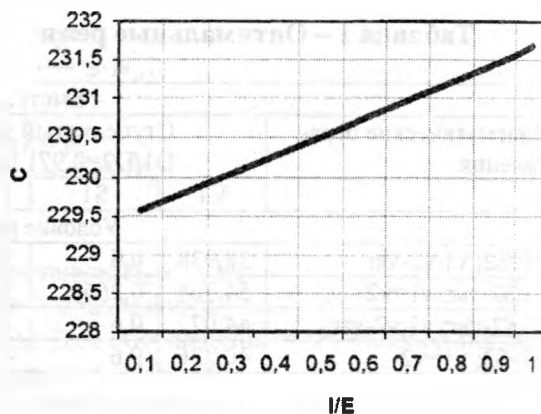


Рис. 4. Влияние отношения I/E на приведенные затраты обработки при обработке деталей из конструкционной стали быстрорежущими зенкерами

Отношение стоимости оборудования к стоимости инструмента I/E незначительно влияет на повышение приведенных затрат, поэтому ступенчатые отверстия можно обрабатывать и дорогостоящим инструментом (рис. 4). При аппроксимировании точек графика теоретической кривой, получаем следующую линейную зависимость с доверительной вероятностью 96% [16]:

$$C = 229.33 + 2.366 \cdot I / E,$$

где I - приведенные затраты, обусловленные эксплуатацией инструмента за один период стойкости инструмента. E - приведенные затраты на эксплуатацию станка и заработную плату рабочего.

Проанализируем введение критерия кратной стойкости в случае n_1, n_2 -var; S_1, S_2 -var для зенкера-зенковки (рис. 5).

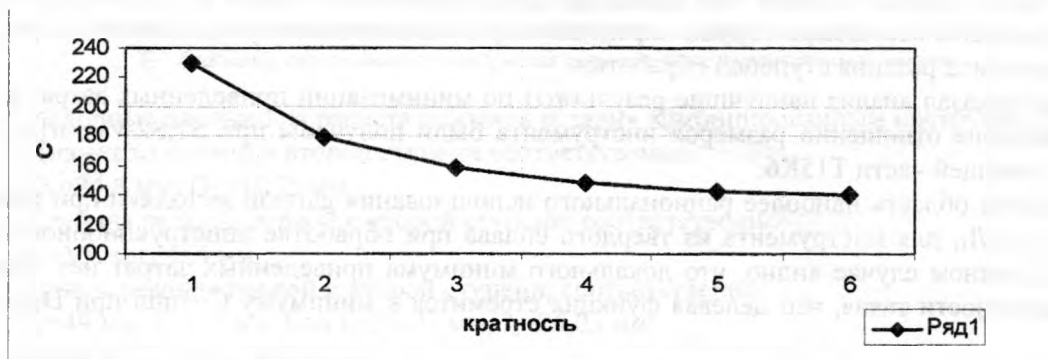


Рис. 5. Влияние условия кратной стойкости

При введении условия кратной стойкости ступеней прослеживается снижение приведенных затрат на обработку при увеличении кратности. Под кратной стойкостью понимается кратность времени работы ступеней инструмента до переточки, т. е. отношение стойкости ступеней должно быть равным 1 или любому целому числу обычно 2, 3, 4.

Выводы:

В результате анализа результатов работы для двухступенчатых зенкеров при обработке конструкционных сталей и чугунов установлено, что в области приемлемых условий резания, оптимальные значения режимов резания стремятся к максимуму и лежат на границе области возможных значений при отсутствии ограничений по кинематике формообразования и точности обработки. Фактически из-за существующих ограничений область рационального использования разработанной модели оптимизации лежит в области малых значений перепадов диаметров и длин резания ступеней инструмента. Установлена малая степень влияния на целевую

функцию оптимизации отношения стоимости оборудования и инструмента. При отсутствии положительных результатов при оптимизации режимов резания предложен путь поиска оптимальных решений связанный изменением маршрута обработки и конструкции инструмента.

Полученные результаты необходимо учитывать при конструировании комбинированных инструментов при назначении длин и диаметров ступеней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ажар А.В., Кочергин А.И. Использование и оптимизация условий эксплуатации комбинированных осевых инструментов. Машиностроение – Мн., 2002 – Вып. 18 – с. 34 - 42.
2. Н.В. Жарликов. Комбинированные режущие инструменты. М.: Машиностроение, 1961 г. с.78.
3. Максимов М.А., Киселева Л.П., Шмелев А.Я. Комбинированные режущие инструменты. Учебное пособие. г. Горький, 1977. – 69с.
4. Дашенко А.И., Шмелев А.И. Наладка агрегатных станков: Учебник для технических училищ. М.: Высш. школа, 1982 - 152 с.
5. Черпаков Б.И. Эксплуатация автоматических линий.: Пособие для инженерно-педагогических работников профессионально-технических училищ. М.: Машиностроение, 1990 - 304 с.
6. Bohren mit KOMET. Das übersichtliche Nachschlagewerk mit allen Details und technischen Daten 6/2002, 257 с.
7. KENNAMETAL HERTEL. Обзор производственной программы. Режущий и вспомогательный инструмент. 2002 – 92 с.
8. Общий каталог ISCAR. 10/2005, ил.
9. Каталог "Walter". 2008, ил.
10. Каталог "Sandvik Coromant". Вращающийся инструмент. 2008, ил.
11. Аверченков В.И. и др. САПР технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов: Учеб. Пособие для вузов / В.И. Аверченков, И.А. Каштальян, А.П. Пархутик. – Мн.: Выш. шк., 1993. – 288 с.: ил.
12. Протяжки для обработки отверстий / Д.К. Маргулис, М.М. Тверской, В.Н. Ашихмин и др. – М.: Машиностроение. 1986. – 232 с., ил. – (Библиотека инструментальщика).
13. Расчеты экономической эффективности новой техники. Л.: Машиностроение, 1975 – 432 с.
14. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. 496 с., ил.
15. Общемашиностроительные нормативы режимов резания. Справочник: В 2-х т. т.1 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин, В.А. Батуев и др.- М.: Машиностроение, 1991г. – 640с., ил.
16. Солонин И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения – М.: Машиностроение, 1972. – 216 с.

УДК 621.94

Бачанцев А.И., Ильютик А.А., Туромша В.И.

ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Ведущие производители современного инструмента и инструментальных материалов: Sandvik Coromant, Mitsubishi, Iscar, SECO на протяжении многих лет разрабатывают новейшие инструменты и инструментальные материалы с целью улучшения качества и эффективности процесса резания. И основной практической задачей, особенно для предварительной обработки, является увеличение производительности. С 60-х годов прошлого века в споре «силовиков» и «скоростников», в связи с появлением твердых сплавов, победу одержали «скоростники», то есть те, кто рекомендовал повышать производительность за счет увеличения скорости резания. Эта тенденция незримо существует и до сегодняшнего дня.

Но если проследить динамику изменения скорости резания за последние более чем 20 лет, то можно заметить, что с момента возникновения твердых сплавов, большого скачка численного значения скорости не произошло. Так в 1984 году фирма Sandvik Coromant предлагала для предварительной обработки стали типа 01.2 (аналог Стали 45) скорости в диапазоне

120 - 170 м/мин, в 1996 – 200-260 м/мин, в 2000 – 205-340 м/мин, в 2008 250-360 м/мин. Данные скорости рекомендованы для различных твердых сплавов, разработанных для своего периода. Это говорит о том что, тенденция увеличения скорости резания для обработки стали данной группы протекает с небольшим положительным эффектом с постепенным затуханием.

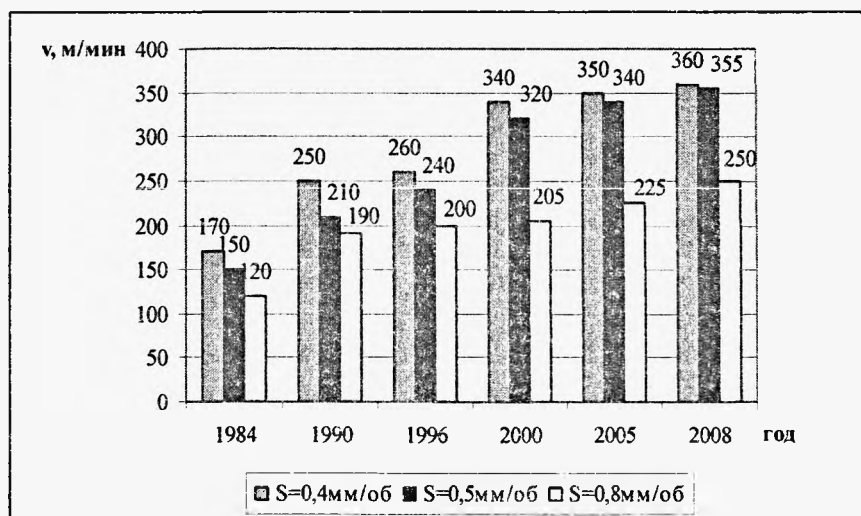


Рис. 1. Динамика изменения рекомендуемой скорости резания для черновой обработки стали 45

В [6] сказано, что в наибольшей степени на производительность влияют скорость резания и подача – при повышении скорости на 20%, производительность повышается на 15%, в отличие от повышения производительности на 1% при увеличении стойкости инструмента на 50% [7]. Исходя из этого, по таблицам выбирают рекомендуемую скорость, с учетом материала СМП, формы СМП, подачи и глубины резания. Указанные режимы резания рассчитаны для стойкости инструмента 15 мин и декларируются как оптимальные, так как обеспечивают оптимальную производительность при наименьшей себестоимости [6].

Но необходимо также сказать, что режимы резания определенным образом влияют на мощность резания. Поэтому, одной из главных особенностей назначения режимов резания на машиностроительных предприятиях на данный момент является зависимость назначаемых режимов резания от мощности установленного оборудования.

Мощность резания определяется по формуле:

$$N_e = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60}, \text{ кВт},$$

где V – скорость резания, м/мин; P_z – сила резания, Н;

$$P_z = 10 \cdot C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p,$$

где C_p , x , y , n , K_p – коэффициенты, зависящие от материала и условий обработки. Для данного материала (Сталь 45) значения коэффициентов будут следующие: $C_p = 300$; $x = 1$; $y = 0,75$, $n = -0,15$, $K_p = 1,09$.

Рекомендуемый диапазон скоростей: для получистовой обработки: 210 - 320 м/мин; для черновой обработки: 180 - 320 м/мин.

Для данных скоростей рекомендуют следующие диапазоны t и S :

- получистовая обработка $t = 0,5 - 5$ мм; $S = 0,15 - 0,5$ мм/об;
- черновая обработка $t = 1,5 - 6$ мм; $S = 0,3 - 0,8$ мм/об.

Как пример, назначим режимы черновой обработки для заготовки типа «Вал» при условии снятия припуска 6 мм. Для этого по каталогу [7] подберем рекомендуемые пластины и режимы обработки:

Пластина CNMM 16 06 08 – PR, при диапазоне глубин резания $t = (0,7 - 9,5 \text{ мм})$ и подач $S = (0,2 - 0,55 \text{ мм/об})$ рекомендуемые значения $t = 6 \text{ мм}$, $S = 0,4 \text{ мм/об}$. Скорости резания в данном случае зависят от материала сменной пластины:

для материала GC4015 $V=355 \text{ м/мин}$;

для материала GC4225 $V=305 \text{ м/мин}$;

для материала GC4235 $V=185 \text{ м/мин}$;

Для пластины CNMM 16 06 12 – PR, при диапазоне глубин резания $t = (1 - 9,5 \text{ мм})$ и подач $S = (0,2 - 0,55 \text{ мм/об})$ рекомендуемые значения $t = 6 \text{ мм}$, $S = 0,5 \text{ мм/об}$. Скорости резания в данном случае зависят от материала сменной пластины:

для материала GC4015 $V=320 \text{ м/мин}$;

для материала GC4225 $V=275 \text{ м/мин}$;

для материала GC4235 $V=170 \text{ м/мин}$;

Для пластины CNMM 16 06 16 – PR, рекомендуемые значения $t = 6 \text{ мм}$, $S = 0,55 \text{ мм/об}$. Скорости резания в данном случае зависят от материала сменной пластины:

для материала GC4015 $V=305 \text{ м/мин}$;

для материала GC4225 $V=265 \text{ м/мин}$;

для материала GC4235 $V=160 \text{ м/мин}$;

По зависимостям, приведенным выше, рассчитываем мощность резания для каждого случая, а результаты расчета показаны на рис. 2.

Данная деталь может обрабатываться на станке с ЧПУ типа 16K20Ф3 мощность 10 кВт или аналогичных зарубежных моделях DL CNC 500/1390, DL CNC 500/1900, DL CNC 610, Turnforse 4580, мощность которых 11 кВт. Стоимость зарубежных станков: Turnforse 4580 – 92000 евро; серия DL стоит от 36800 до 40800 евро. Как видно по мощности эти станки не подходят для обработки с рекомендуемыми режимами.

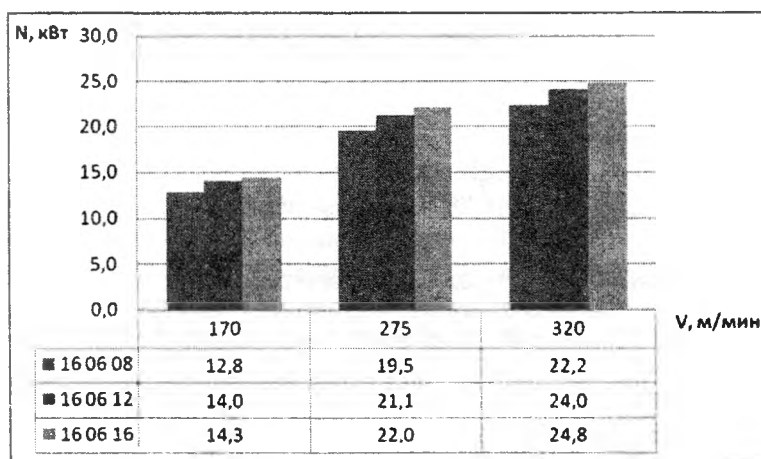


Рис. 2. Мощность резания для различных режимов обработки

Для решения этой задачи можно купить другое оборудование, с большей мощностью, но это решение должно быть экономически обосновано, так как более мощное оборудование, например DL CNC 100.50 с мощностью привода главного движения 22 или 26 кВт, стоит уже 160500 евро. Другой способ решения – корректировка режимов обработки. Например, при неизменных глубине резания t и подаче S , уменьшить скорость резания V , до значения при котором привод главного движения (с учетом к.п.д. привода 0,85), будет обеспечивать обработку. При $V=115 \text{ м/мин}$, при использовании пластины CNMM 16 06 08 – PR, мощность резания для

всех материалов будет равна 8,5 кВт (для привода с мощностью 10кВт). При уменьшении подачи до значения $S=0,11$ мм/об, при неизменных глубине резания t и скорости резания V , для той же пластины, мощность резания будет равна 8,4 кВт.

При этом данные режимы будут обеспечивать разную производительность обработки Q которая определялась по зависимости:

$$Q = V \cdot S \cdot t,$$

где Q - производительность, см³/мин; V – скорость резания, м/мин; S – подача, мм/об; t – глубина резания, мм.

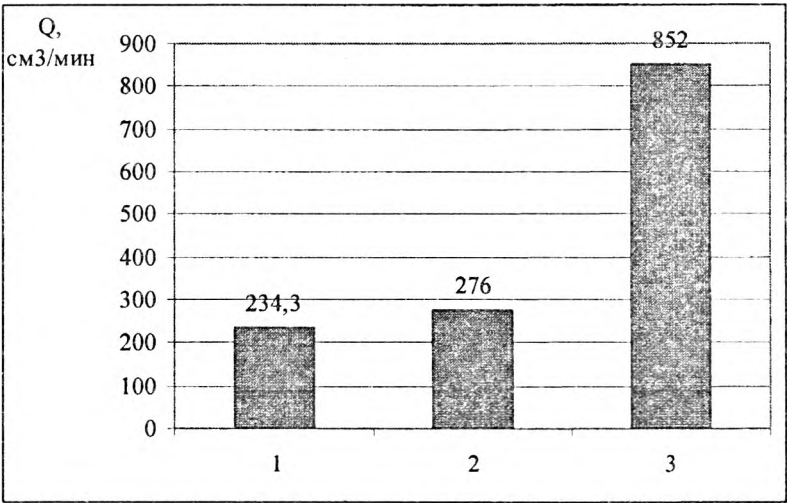


Рис. 3. Производительность черновой обработки

На рис. 3 можно видеть, как изменилась производительность при изменении режимов обработки - скорости (столбик 2) и подачи (столбик 1), по сравнению с производительностью обработки с режимами, рекомендуемыми в каталоге без учета мощности оборудования (столбик 3).

Если корректировать глубину резания, то обработку нужно будет производить за несколько проходов. В этом случае для сравнения производительности будем использовать время обработки $T_{маш}$ (мин).

$$T_{маш} = \frac{L}{sn} \times \frac{\delta}{t},$$

где t – глубина резания, мм; L – длина одного рабочего хода инструмента, 150 мм; s – подача, мм/об; δ - припуск, мм; n – частота вращения заготовки, мин⁻¹ $n = \frac{1000v}{\pi D}$,

где D – диаметр заготовки, 200 мм; v – скорость резания, м/мин,

Sandvik Coromant рекомендует работать пластинами Wiper с увеличенными подачами. поэтому по рекомендациям 7 назначим режимы обработки для глубины резания $t=3$ мм.

Пластина CNMM 16 06 12 – WR, при диапазоне глубин резания $t = (1,2 - 6$ мм) и подач $S = (0,42 - 1,2$ мм/об) рекомендуемые значения $t = 3$ мм, $S = 0,8$ мм/об. Скорости резания в данном случае зависят от материала сменной пластины - для материала GC4015 $V=270$ м/мин;

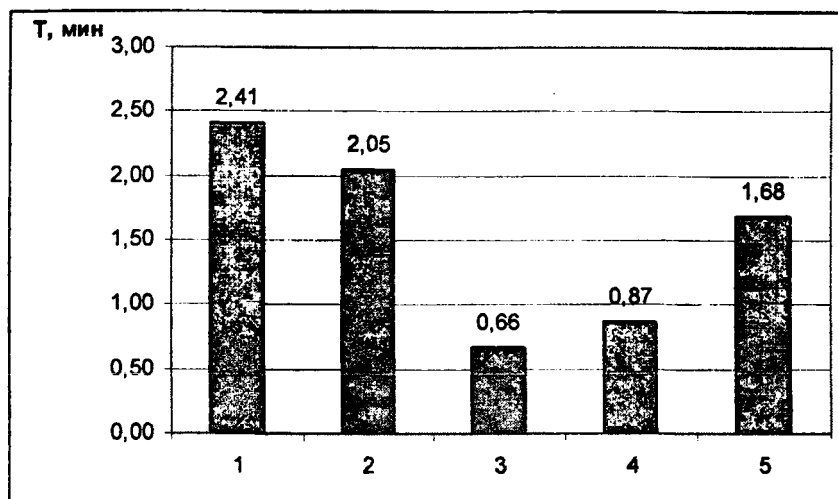


Рис. 4. Сравнительная оценка производительности для различных видов черновой обработки

На рис. 4 показана производительность по времени обработки. Столбики 1,2,3 отображают условия обработки аналогичные рисунку 3, а далее показана производительность двух-проходной обработки пластиной Wiper с ограничением скорости (столбик 5) и для режимов $t = 3$ мм, $S = 0,8$ мм/об. $V=270$ м/мин.

Вывод:

1. Производительность черновой обработки при режимах, назначенных по рекомендациям Sandvik Coromant, выше в том случае, когда нет ограничения оборудования по мощности.
2. Для оборудования с определенной мощностью, в большинстве случаев, рекомендуемые режимы обработки необходимо корректировать, существенно уменьшая производительность.

ЛИТЕРАТУРА

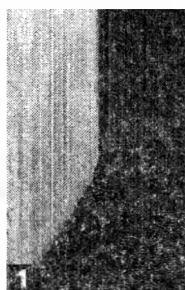
1. Ящерицын, П.И. Еременко, М.Л. Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. Для вузов. - Мн.: Выш. Шк., 1990. - 512с.
2. Прогрессивные режущие инструменты и режимы резания металлов: Справочник/ В.И. Баранчиков, А.В. Юдинов и др.; Под общ. ред. В.И. Баранчикова. - М.: Машиностроение, 1990. - 400с.
3. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ, Справочник, Л.: Машиностроение, 1990. - 591с.
4. Шарин Ю.С. Технологическое обеспечение станков с ЧПУ. - М.: Машиностроение, 1986. - 176 с.
5. CoroSecy. Руководство по повышению производительности. Точение - фрезерование - сверление., Каталог SANDVIK COROMANT, 6-е издание 2000. - 216 с.
6. CoroSecy. Просто выбрать. Легко работать. Точение - фрезерование - сверление., Каталог SANDVIK COROMANT, 2007. - 210 с.
7. Бачанцев А.И., Туромша В.И. Повышение эффективности обработки на токарных станках с ЧПУ: Машиностроение: Сб. научн. Трудов. Вып. 17. Под ред. И.П. Филонова. - Мн.: УП «Технопринт». 2001. С. 9-15.
8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. - Т 2. Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. - 4-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1985. - 496 с.
9. Общемашиностроительные нормативы режимов резания: Справочник/ В 2-х т. : Т. 1 / А.Д. Локтев, И.Ф. Гушин и др. - М.: Машиностроение, 1991. - 640с.
10. ISCAR LANE Plus. Каталог ISCAR. 1998. 250 с.

ОЦЕНКА РАДИУСА СКРУГЛЕНИЯ КРОМКИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

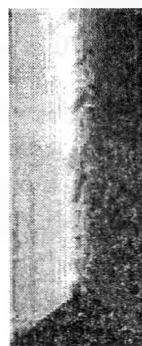
*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

После врезания острозаточенной кромки режущего инструмента (рис. 1, а), в обрабатываемый материал на ней образуется заусенец [2]. Почти сразу после начала работы заусенец срезается и формируется затупленная режущая кромка, имеющая определенный радиус скругления вершины (рис. 1, б). По мере износа инструмента радиус округления режущей кромки увеличивается.

Процесс срезания заусенца с режущей кромки носит случайный характер. В результате нерегулярного микровыкрашивания профиль кромки принимает изрезанный вид (рис. 1, б). Неровный край режущей кромки снижает качество обрабатываемой поверхности. Кроме того, из-за неравномерной нагрузки по длине неровной режущей кромки происходит ускоренный износ инструмента.



а)



б)

Рис. 1. Профиль вершины режущей кромки инструмента

Для повышения качества обработки и долговечности инструмента некоторые фирмы выполняют заточку режущей кромки строго определенным радиусом. В результате возрастает долговечность инструмента и повышается качество обработанной поверхности.

Выбор радиуса скругления режущей кромки инструмента, оптимального по стойкости, требует многочисленных и длительных испытаний. Поэтому определенный интерес представляют иные методы оценки минимально допустимого радиуса скругления режущей кромки.

Процессы, обуславливающие износ и формообразование режущей кромки инструмента, многообразны, сложны и недостаточно изучены. Тем не менее, можно оценить величину минимально возможного радиуса скругления кромки. Для этого можно предположить, что те участки режущей кромки, где напряжения превышают напряжение текучести материала резца, будут практически немедленно удаляться в процессе работы. В этом случае область около вершины резца, где напряжения не превышают напряжение текучести, и будут определять фактически наблюдаемую геометрию вершины резца, или минимально возможный радиус скругления R (рис. 2).

Для проверки высказанной гипотезы был проведен анализ напряженного состояния вершины режущей кромки инструмента методом конечных элементов. В качестве первой тестовой модели исследовалось напряженное состояние ножа (режущей линейки) для высекания заготовок из картона. Режущая линейка представляет собой заточенную пластину из стали 65Г толщиной 0.71 мм с углом при вершине, равным 52°.

Ввиду симметричности задачи рассматривалась только половина сечения линейки. Конечно-элементная модель режущей линейки представлена на рис. 2.

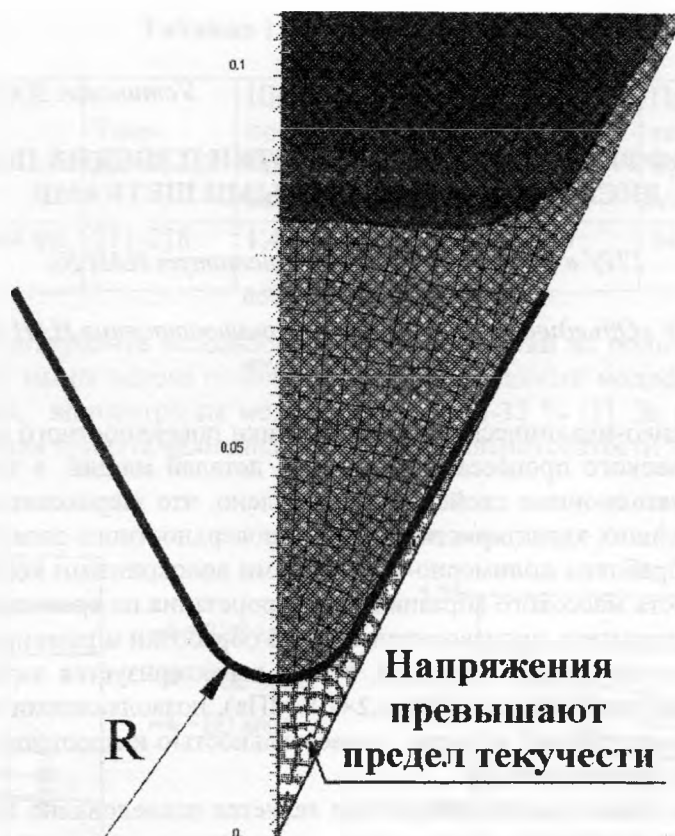


Рис. 2. Принцип оценки минимально допустимого радиуса скругления режущей кромки

Усилие вырубки при толщине картона 0.7 мм принималось равным 35 Н/мм. Вектор силы направлен по нормали к режущему лезвию и линейно изменяется по высоте от максимального значения до нуля. Предел текучести σ_T для стали 65Г принимался равным $\sigma_T = 450$ МПа [2].

Минимально возможный радиус скругления режущей кромки R оценивался путем графических построений. При выбранных условиях он оказался равным ориентировочно величине порядка 12 мкм. Эта величина достаточно хорошо согласуется со значениям радиуса скругления (15...20 мкм), применяемым фирмой Sandvic Coromant при заточке таких линеек.

В качестве второй тестовой модели исследовалось напряженное состояние зуба протяжки диаметром 24 мм из стали Р6М5, с высотой зуба 2.5 мм (профиль №4 по ГОСТ 20365-74, [1]), передний угол $\gamma = 20^\circ$, задний угол $\alpha = 1^\circ$. Предел текучести σ_T для стали Р6М5 принимался равным $\sigma_T = 1250$ МПа. При выбранных условиях радиус скругления оказался близким величине 10 мкм. Эта величина одного порядка с фактически наблюдаемыми значениями радиуса скругления кромки зуба протяжки – порядка 20 мкм [3].

Проведенная оценка минимально возможного радиуса скругления режущей кромки показывает близкие значения расчетных и фактически наблюдаемых значений. Исходя из этого, предложенный метод оценки радиуса скругления режущей кромки может быть использован при проектировании режущих инструментов, в особенности из новых материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 20365-74. Протяжки круглые переменного резания. 2. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 1. – М.: Машиностроение, 1978. – 728 с.
3. Протяжки для обработки отверстий / Д.К.Маргулис, М.М.Тверской, В.Н.Ашихмин и др. – М.: Машиностроение, 1986. – 232 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДИСКОВЫМИ АБРАЗИВНЫМИ ЩЕТКАМИ

ГНУ «Физико-технический институт НАН Б»

Минск, Беларусь

ГНУ «Объединенный институт машиностроения НАН Б»

Минск, Беларусь

Введение. Физико-механические характеристики поверхностного слоя, формируемые в результате технологического процесса изготовления деталей машин, в значительной степени определяют их эксплуатационные свойства. Установлено, что шероховатость поверхности является одной из важнейших характеристик качества поверхностного слоя [1]. Применение технологий финишной обработки полимерно-абразивными волоконными композитами позволило увеличить интенсивность массового абразивного микрорезания по сравнению с обработкой жестким инструментом, повысить производительность обработки и расширить технологические возможности отделочно-зачистных операций. Метод характеризуется низкими температурами (310-430 К) и удельными давлениями ($0,2-1,2 \times 10^5$ МПа), позволяющими повысить эксплуатационные характеристики изделий, а также универсальностью и простотой реализации в условиях различных типов производств [2].

Цель работы. Целью настоящей работы является исследование влияния технологических параметров процесса обработки на шероховатость поверхности деталей.

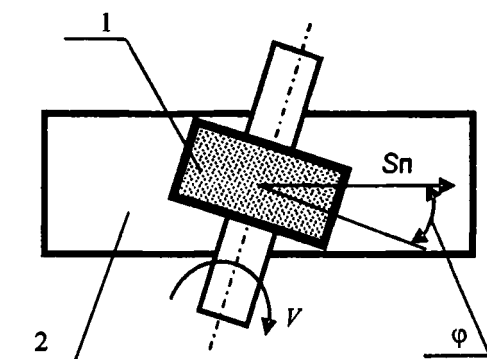


Рис. 1. Схема обработки

Методика исследований. Исследования проводились по схеме обработки, приведенной на рис. 1, предполагающей наличие вращательного движения дискового инструмента 1, поступательного перемещения образца 2, а также задание некоторого угла φ между вектором подачи обрабатываемой поверхности и плоскостью вращения инструмента. Экспериментальная установка для реализации схемы обработки размещалась на базе горизонтально-фрезерного станка мод. 6М82 и состояла из обрабатывающего модуля с приводом вращения инструмента, поворотного механизма и устройства крепления заготовок. При этом угол φ обеспечивался за счет разворота диска вокруг нормали к обрабатываемой поверхности, проходящей через точку контакта. В каждой серии опытов обрабатывалась партия из 3 образцов. Использовались образцы размером $1 \times 50 \times 50$ мм. Исходная шероховатость поверхности образцов и свойства материалов образцов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Свойства образцов

Материал	Твердость, HV	Шероховатость поверхности Ra исх, мкм	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести $\sigma_T (\sigma_{0,2})$, МПа	Относительное удлинение δ , %
Сталь 45 ГОСТ 19904-90	211-218	1,416-1,542	580-770	340	15-17

В качестве инструмента использовали дисковые щетки из полимерно-абразивного волокна диаметром 125 мм на основе полиамида ПА-6, абразивный модификатор волокна – карбид кремния зеленый, концентрация модификатора – 24-32 % [1]. За критерий качества поверхностного слоя была принята величина параметра Ra шероховатости поверхности.

Ra , мкм

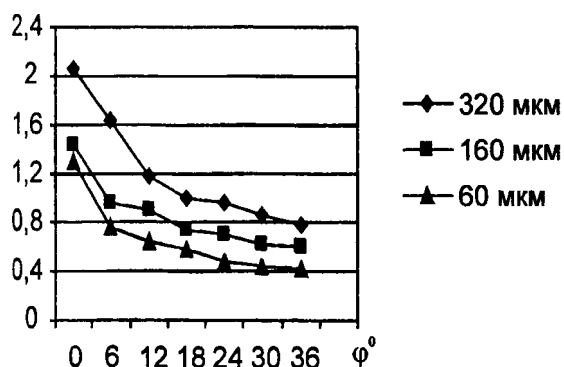


Рис.2. Влияние угла разворота и зернистости абразива на шероховатость поверхности

Ra , мкм

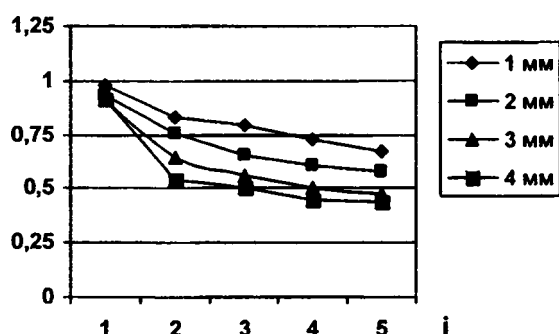


Рис.3. Влияние натяга и количества проходов на шероховатость поверхности

Ra , мкм

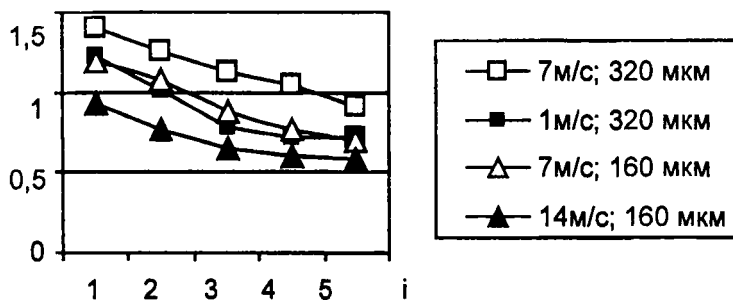


Рис.4. Влияние скорости резания на шероховатость поверхности

Результаты и обсуждение. Результаты исследований представлены на рисунках 2-4. Анализ полученных результатов показывает, что для рассматриваемого метода обработки плоских поверхностей величина шероховатости поверхности образцов зависит от угла ϕ между векторами подачи и окружной скорости инструмента, а также от других технологических факторов – зернистости Δ , натяга δ , скорости резания V , подачи S_{Π} и количества проходов i .

В отличие от традиционного встречного или попутного шлифования периферией круга, использование разворота инструмента относительно направления подачи детали приводит к уменьшению радиальной составляющей силы резания, изменению характера и ориентации поверхностных остаточных напряжений [3]. Процессы абразивного воздействия, упругой и пластической деформации поверхности, формирования рисок осуществляются под некоторым уг-

лом к направлению подачи, что обусловлено изменением ориентации направления вектора силового воздействия. Увеличение угла φ от 0 до 36° сопровождается уменьшением значений Ra для всех исследуемых значений зернистости, например, с 2,06 до 0,78 мкм, или в 2,48 раза ($\Delta = 320$ мкм); с 1,44 до 0,61 мкм, или в 2,36 раза ($\Delta = 160$ мкм); с 1,31 до 0,42, или в 2,81 раза ($\Delta = 60$ мкм). Существенное снижение Ra в 2,0 раза ($\Delta = 320$ мкм), 1,9 раза ($\Delta = 160$ мкм) и 2,1 раза ($\Delta = 60$ мкм) наблюдается уже при угле $\varphi=12-18^\circ$. Таким образом, при одинаковых условиях шлифования за счет изменения только величины угла разворота инструмента можно получить различные значения параметров шероховатости поверхности (рис. 2).

Обработка с изменением натяга (радиальной деформации) инструмента от 1 до 4 мм приводит к снижению шероховатости при количестве проходов $i=1-5$, что объясняется увеличением силового воздействия и площади полирующего воздействия щетки в зоне взаимодействия инструмент-поверхность (рис. 3). При данной величине вылета ворса (25 мм) наибольшее снижение шероховатости наблюдается при $\delta=3$ мм. Дальнейшее увеличение δ не приводит к существенному снижению шероховатости. Рост натяга инструмента δ сопровождается снижением значений Ra с 0,83 мкм ($\delta = 1$ мм) до 0,59 мкм или в 1,39 раза ($\delta = 3$ мм, $i=2$), с 0,79 мкм до 0,51 мкм, или в 1,29 раза ($i=3$) и с 0,67 мкм до 0,44 мкм, или в 1,41 раза ($i=5$).

При увеличении скорости резания в 2 раза (с 7,0 м/с до 14,0 м/с) при обработке с величиной натяга $\delta=2$ мм шероховатости поверхности снижается в 1,15-1,44 раза ($\Delta = 320$ мкм) и в 1,21-1,42 раза ($\Delta = 160$ мкм). Снижение шероховатости поверхности при увеличении V объясняется увеличением общего количества ударных воздействий, и микросрезов материала, следы которых затем сглаживаются и пластически деформируются ворсом щетки в зоне скольжения. Возрастание длины пути абразивных зерен в единицу времени интенсифицирует указанные явления (рис. 4). Увеличение зернистости абразивного модификатора с $\Delta = 160$ мкм до $\Delta = 320$ мкм приводит к возрастанию значений шероховатости поверхности для всех исследованных значений скорости резания – соответственно с 1,19-0,71 мкм до 1,41-0,92 мкм, или в 1,19-1,35 раза ($V= 7,0$ м/с); и с 0,93-0,58 мкм до 1,23-0,72 мкм, или в 1,18-1,32 раза ($V= 14,0$ м/с). Следует отметить, что увеличение размера зерна абразивного модификатора сопровождается пропорциональным увеличением диаметра волокна полимерно-абразивного композита [4]. Это приводит к увеличению давления на обрабатываемую поверхность и росту сил резания.

Выводы. Полученные результаты свидетельствуют, что шероховатость плоских поверхностей существенно зависит от величины угла разворота дискового полимерно-абразивного инструмента относительно направления подачи заготовки. За счет изменения основных технологических параметров обработки можно обеспечить получение заданных значений параметра Ra шероховатости поверхности плоских поверхностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горохов, В.А. Технология обработки материалов: учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / В.А. Горохов. – Минск: Бел. наука, 2000. – 438 с.
2. Д.Ф. Устинович, Эластичный абразивный инструмент для отделочно-зачистной обработки / Д.Ф. Устинович // Современные методы и технологии создания и обработки материалов: материалы II междунар. науч.-техн. конф.: Минск, 3-5 окт. 2007 г. / ГНУ «ФТИ НАНБ». – Минск, 2007. – С. 142-146.
3. В.М. Яркович, Косоугольное шлифование маложестких деталей / В.М. Яркович // Прогрессивные технологии обработки маложестких деталей: тез. обл. междуотр. науч.-техн. конф.: Тольятти, 12-13 мая 1987 г. / ТПИ. – Тольятти, 1987. – С. 85-86.
4. Д.Ф. Устинович, Прогрессивная технология удаления заусенцев эластичным инструментом / Д.Ф. Устинович, В.И. Прибыльский // Вестник ПГУ. Сер. В. – 2005. – №6. – С.135-139.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ СЛОЖНОПРОФИЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь

Значение высокоскоростной обработки (ВСО), и в особенности высокоскоростного фрезерования, значительно возросло с появлением новой гаммы конструкций станков и инструментов. Применение технологии высокоскоростного фрезерования приводит к повышению производительности при обработке металлов резанием с одновременным повышением точности и качества поверхности деталей, что важно в производстве пресс-форм и другой технологической оснастки [1]. Повышение производительности достигается за счет применения более высоких скоростей резания, которые в два-три раза превышают обычные. При небольших сечениях среза в данном диапазоне скоростей основная масса тепла концентрируется в стружке, не успевая переходить в заготовку, что позволяет производить обработку закаленных сталей, не опасаясь отпуска поверхностного слоя. Отсюда следует основной принцип ВСО: малое сечение среза, снимаемое с высокой скоростью резания, высокие обороты шпинделя и высокая минутная подача.

Метод высокоскоростного фрезерования требует использования САМ-систем (Computer Aided Manufacturing – система автоматизированного управления производственным оборудованием), обеспечивающих следующие основные критерии разработки управляющих программ (УП) [2]:

- постоянство условий резания с сохранением постоянной толщины стружки;
- сопряжение по радиусу острых углов траектории для поддержания наилучших условий резания с минимальными потерями рабочей подачи;
- плавное соединение концов траектории при позиционировании;
- максимальная скорость отработки УП системой ЧПУ.

САМ-система создает проходы с мелким шагом на больших рабочих подачах, исключая резкие повороты, так как функция предварительного просмотра системы ЧПУ автоматически уменьшает рабочую подачу, при приближении точки смены направления движения. Результатом является геометрически точное фрезерование изделий (например, деталей пресс-форм) с достижением шероховатости поверхности, исключаяющей финишную полировку (рис.1).

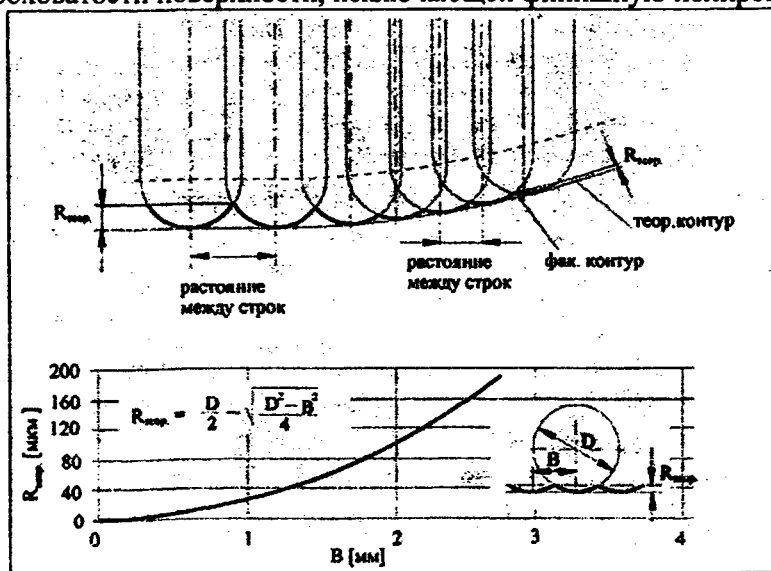


Рис. 1. Влияние расстояния между строками на теоретическую шероховатость

Проблему недостаточного быстродействия системы ЧПУ при обработке сигналов САМ-система решает созданием специальных траекторий инструмента, соответствующих возможностям систем управления. Для получения оптимальной траектории инструмента функциональные возможности САМ-системы включают:

- исследование расстояния между слоями по оси Z;
- плавное соединение концов траектории;
- контроль наклона стенок детали и идентификацию специфики геометрии.

САМ-система изменяет расстояние между слоями по оси Z так, чтобы после предварительной обработки достигнуть окончательной формы с заданным значением припуска. Для этого САМ-система воспринимает изменения в рельефе поверхности между слоями и по значению остающегося припуска определяет дополнительные проходы. Такие функциональные возможности помогают исключить полуступовую обработку, уменьшить время обработки и износ режущего инструмента. САМ-система обеспечивает плавное врезание инструмента в материал заготовки (например, по спирали).

Существуют четыре принципа генерации траектории движения режущего инструмента, которым подчинены все подходы к созданию УП для высокоскоростной обработки [3]:

1. Предпочтительны длинные траектории инструмента для резания с небольшой глубиной в осевом и радиальном направлениях.

2. Резание образующей вместо торцового фрезерования. Окружная скорость прямо пропорциональна радиусу инструмента, и даже при высокой скорости вращения шпинделя она равна нулю в центре инструмента (на оси). Силы резания при высокоскоростной обработке существенно уменьшаются в направлении осей X и Y, а в направлении оси Z практически не изменяются. К тому же при торцовом фрезеровании удаление стружки затруднено, что негативно сказывается на процессе резания.

3. Плавное изменение условий резания: условия отвода стружки, усилия резания в осевом и радиальном направлениях и т.д. Для инструмента из твердого сплава более благоприятна постоянная (пусть даже и высокая) температура в зоне резания, чем её колебания. Резкое изменение условий резания при врезании инструмента в материал приводит к увеличению количества выделяемого тепла и механических напряжений, что отрицательно сказывается на стойкости инструмента. Если траектория инструмента рассчитана при условии плавного изменения условий резания, то это позволит значительно увеличить стойкость инструмента, получить лучшую точность и шероховатость обработанной поверхности.

4. Плавные траектории инструмента. Применение функции предварительного анализа траектории с соответствующим регулированием рабочей подачи позволяет предотвратить резкие врезания в материал, так как рабочая подача будет соответствовать запрограммированному значению только на плавных (особенно на прямолинейных) участках траектории, а перед резкой сменой направления движения инструмента рабочая подача будет постепенно уменьшаться до некоторого значения. При плавном изменении нагрузки на инструмент на механические узлы станка будут действовать наименьшие силы. Практика показывает, что деталь невозможно изготовить без использования траектории, предполагающей резкую смену направления движения инструмента (рис.2, а), но такие случаи необходимо минимизировать. Плавная траектория (рис.2, б) более подходит для высокоскоростной обработки.

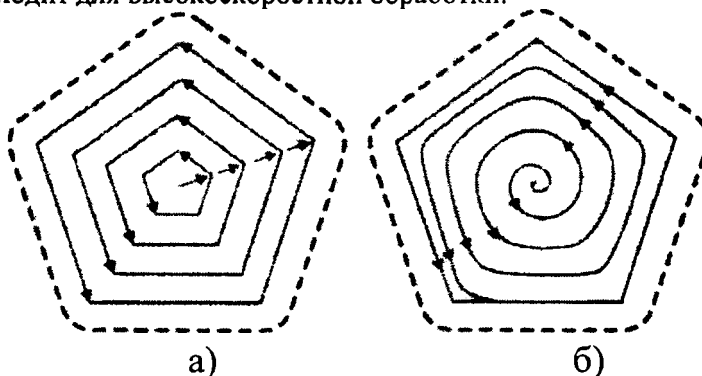


Рис.2. Схемы траекторий движения инструмента: траектория с резким изменением направления (а), плавная траектория движения (б)

Сила резания в направлении оси Z не уменьшается при увеличении скорости вращения шпинделя. Врезание в твердый материал с высокой рабочей подачей создаст напряжение в инструментальном патроне и шпинделе, и приведет к повреждению инструмента. Необходимо избегать вертикального врезания инструмента (за исключением графита, алюминия и некоторых других мягких материалов). Перемещение режущего инструмента на величину прохода по оси Z рекомендуется производить в воздухе, а врезание в горизонтальном направлении - по дугообразной траектории. Желательно и выход инструмента осуществлять по дуге. Чем тверже материал, тем меньше должно быть значение угла врезания. Например, при обработке стали твердостью 62...65 HRC рекомендуется задавать угол врезания не более 0.5 градуса.

Резание параллельными слоями (фреза движется последовательно слоями по горизонтальным плоскостям) - наиболее распространенный метод формирования траектории для предварительной обработки. Преимущество этого подхода в простоте программирования при сохранении глубины фрезерования. При обработке параллельными слоями генерируются проходы для окончательной обработки боковых стенок карманов или островов. Однако для обработки плоских поверхностей (низ кармана или верх острова) такая техника не совсем подходит, и тут лучше применять другие методы. Некоторые САМ-системы позволяют программировать траектории для обработки комбинированных поверхностей [4]. Одна из проблем обработки параллельными слоями - изменение шага по оси Z . Только часть САМ-систем автоматически определяют различные значения приращения по оси Z в зависимости от угла наклона стенок; большинство же - не может. Технолог-программист вынужден вручную разделять поверхность на области и указывать различные значения шага по оси Z , чтобы получить оптимальную шероховатость поверхности наклонных и вертикальных стенок.

На основе практического опыта выработаны следующие рекомендации по программированию траекторий для высокоскоростной обработки (порядок перечисления является произвольным и не зависит от значимости):

1. Обработка с образованием стружки. Тепло из зоны резания в основном отводится вместе со стружкой. При малой рабочей подаче стружка почти не производится. Вырабатываемое в процессе трения тепло будет отводиться только через инструмент и обрабатываемую деталь, что приведет к перегреву и преждевременному износу инструмента.

2. Если условия резания не могут быть постоянными в силу специфичной геометрии детали, то уменьшение значения шага по оси Z является наиболее эффективным способом улучшить резание. При уменьшении шага минимизируются случаи внезапного увеличения объема удаляемого материала при врезании фрезы в угол, которые приводят к повышению вибрации и ухудшению условий отвода стружки (тепла).

3. Попутное фрезерование для предварительной и окончательной обработки. Поверхность получается с лучшей шероховатостью и происходит оптимальный отвод стружки; так же существенно возрастает стойкость фрезы. Современные инструменты из твердого сплава лучше сопротивляются усилиям сжатия (что характерно для попутного фрезерования), нежели растяжения. При встречном фрезеровании толщина стружки увеличивается от нуля до максимума, что способствует выделению большого количества тепла, поскольку режущая кромка движется с большим трением.

4. Резание в одном направлении. При таком резании инструмент всегда будет находиться с одной стороны от материала, поэтому условия резания будут более однородными. Недостаток - большое время, затрачиваемое на холостые перебеги.

5. Минимум врезаний инструмента. При врезании количество стружки резко увеличивается, и в режущем инструменте возникает большое напряжение.

6. Окончательная глубина фрезерования должна достигаться переменными шагами, чтобы для окончательной обработки оставался равномерный припуск. Излишний припуск может оказаться слишком большим для инструмента окончательной обработки. Если используемая САМ-система не обеспечивает контроль величины припуска, необходимо добавить дополнительную траекторию между предварительной и окончательной обработкой.

7. Обработка «от центра - к периферии» и несколько чистовых проходов при обработке стенок. Для предварительной обработки параллельными слоями, когда на каждом уровне инструмент движется по спирали, лучше генерировать траекторию «от центра - к периферии». Это

также позволяет добавить дополнительный проход при обработке боковых стенок кармана. Свои преимущества есть и у обработки «от периферии - к центру», при которой уменьшаются случаи врезания инструмента по оси Z и в углах. Если в САМ-системе есть функция минимизации врезаний инструмента, то рекомендуется её использовать.

8. Предварительная обработка фрезами большого диаметра с припуском в углах для последующей доработки. Обработка углов с маленькими радиусами должна производиться инструментом малого диаметра, который не является в достаточной мере жестким для удаления большого количества материала, особенно когда инструмент имеет большой вылет (малое соотношение диаметра инструмента к его длине). САМ-системы позволяют удалять припуск, оставленный в углах, с помощью дополнительных фрез меньшего диаметра. Это особенно полезно, когда твердость материала высока.

9. Использование функции САМ-системы «аппроксимация дугами». Она служит для преобразования нескольких линейных сегментов траектории в одну дугу, что позволяет уменьшить размер УП и обеспечить постоянство рабочей подачи. Эта функция особенно полезна при интерполяции одновременно по трем осям. При этом значение точности интерполяции должно быть на порядок выше, чем оставляемый припуск.

10. Отход и подход к траектории должны производиться по дуге. Условия резания в таком случае изменяются плавно, и износ инструмента уменьшается.

11. Предварительную обработку предпочтительно осуществлять концевыми фрезами с небольшим радиусом (до 1 мм) на торце. Они могут сохранять свою целостность дольше фрез без радиуса на торце или сферических фрез.

12. Рекомендуется применять обильное охлаждение или работать вовсе без охлаждения. Целесообразность использования СОЖ повышается с уменьшением скорости резания. Процесс отвода тепла в большой степени зависит от своевременного удаления стружки, и для этого правильней будет использовать воздушную струю, поданную под большим давлением вместо охлаждающей эмульсии на водной основе. Поскольку в зоне резания создается высокая температура и большие центробежные силы, любая жидкость на водной основе вблизи от режущей кромки будет мгновенно превращена в пар, и какой-либо охлаждающий эффект будет отсутствовать. При этом жидкость будет на мгновение охлаждать режущую кромку, находящуюся в тот момент вне процесса резания. Эти тепловые удары приведут к преждевременному износу инструмента. Масляно-воздушная охлаждающая эмульсия в виде тумана служит в основном для смазки и уменьшения трения.

При высокой скорости вращения жесткая технологическая система переходит в разряд упругодеформируемой, упругие и диссипативные характеристики которой накладывают существенные ограничения на её режимы работы. Поэтому, для реализации заданных режимов высокоскоростного резания необходимо установить допустимые характеристики технологической системы, либо при её известных характеристиках назначить разрешенные режимы резания. В первом случае решается задача синтеза, а во втором – анализа динамики технологической системы. Вопросы анализа и синтеза машин и механизмов различного назначения, в том числе технологических машин, широко освещены в научно-технической литературе. Однако в большинстве исследований авторы рассматривают отдельно механическую систему или только кинематику и динамику процесса резания.

Отличительной особенностью технологической системы при ВСО является тесная взаимосвязь процесса резания с динамикой системы, качеством и производительностью обработки. Для практической реализации ВСО необходимо выбрать допустимые режимы резания, установить значения вибродиагностических параметров технологической системы для управления качеством обрабатываемой детали и техническим состоянием самой системы. Установлено, что высокоскоростная обработка для конкретной технологической системы осуществима в очень узком диапазоне скоростей, подач и глубин резания, который характеризуется низкими уровнями её вибраций.

Обычно технологическую систему подразделяют на четыре подсистемы (рис. 3), каждая из которых включает ряд структурных единиц (СЕ). На основании расчётных и экспериментальных данных определены основные требования для подсистем и их структурных единиц, предназначенных для высокоскоростного фрезерования [5].

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

ЗАГОТОВКА

ИНСТРУМЕНТ

ПРИСПОСОБЛЕНИЕ

СТАНОК

Рис.3. Технологическая система

Заготовки для высокоскоростного фрезерования должны соответствовать повышенному классу точности, так как в противном случае дефекты её поверхности могут привести к высоким и неравномерным нагрузкам на подсистему шпинделя, что вызовет повышенные вибрации всей системы. У заготовок не отвечающих этим требованиям необходимо снять поверхностный слой – обработать её предварительно. Предельные отклонения от плоскостности и прямолинейности заготовки не должны превышать 12 класса точности.

В технических характеристиках инструментов предлагаемых для высокоскоростного фрезерования указываются рекомендуемые параметры резания типовых материалов и точность их изготовления. Эти параметры обеспечивают только необходимые, но не достаточные условия применения данного инструмента в конкретной технологической системе. Такой инструмент должен иметь: допуск на диаметр – 7 квалитет по ИСО, радиальное биение зубьев – не более 4 степени точности, дисбаланс – 4 или 5-й класс точности по ГОСТ 22061 (зависит от отношения масс инструмента и ротора шпинделя), максимальное число оборотов соответствующее частоте вращения шпинделя.

Основные требования, предъявляемые к вспомогательному инструменту для закрепления фрез (оправки, патроны), это – 3-й класс точности балансировки в сборе, точность соединения шпиндель-оправка АТЗ, а отклонения формы и расположения посадочной поверхности по 2-й и 3-ей степеням точности. Погрешность базирования оправки в шпинделе необходимо оценивать с помощью контрольной оправки (эталоны инструмента), радиальное биение которой не должно превышать 3 мкм на длине равной четырём диаметрам при нескольких установках её в шпинделе. От данного требования зависит стойкость инструмента, которая убывает по гиперболе с ростом биения инструмента. Так, например, стойкость инструмента при биении 12 мкм составляет 30% от его стойкости при биении 3 мкм.

Высокоскоростные фрезерные центры оснащены электрошпинделями с частотами вращения 8000-24000 мин-1 с тенденцией роста до 40000 мин-1 и более. На этих оборотах роторная система «якорь-оправка-инструмент» (рис. 4) становится упругодеформируемой, а уровень вибраций зависит от динамической жёсткости роторного узла и дисбалансов структурных единиц. Сама жёсткость зависит как от конструкторско-технологических параметров шпинделя, так и от условий закрепления в нём оправки с инструментом, существенно влияющих на значения резонансных частот при которых не допустима эксплуатация станка, что ограничивает разрешённый диапазон частот вращения шпинделя. Так, например, для электрошпинделя с рабочим диапазоном частот вращения от 12000 до 24000 мин-1, схема которого подобна представленной на рис. 8, были вычислены возможные собственные частоты колебаний: вала (CE1) ... 44000 мин-1; механизма натяжения (CE4) ... 24000 или 16000 или 10000 мин-1 в зависимости от усилия зажима штрелева оправки в соединениях М2 и М3 (жёсткое, шарнирное или свободное закрепление); опор (CE2, CE3) ... 15100 и 23700 мин-1.

Из этих расчётов следует, что с 10% запасом устойчивости, эксплуатация шпинделя возможна в двух диапазонах оборотов: от 12000 до 13200 мин-1 и от 18000 до 21300 мин-1.

Экспериментальные исследования этого шпинделя на холостом ходу с контрольной оправкой и рабочей фрезой подтвердили наличие резонанса в рабочем диапазоне оборотов шпинделя. Для выбора режимов высокоскоростной обработки неперенным условием является установление всех динамических характеристик шпинделя и станка, которые должен представить изготовитель или их следует определить на месте установки станка.

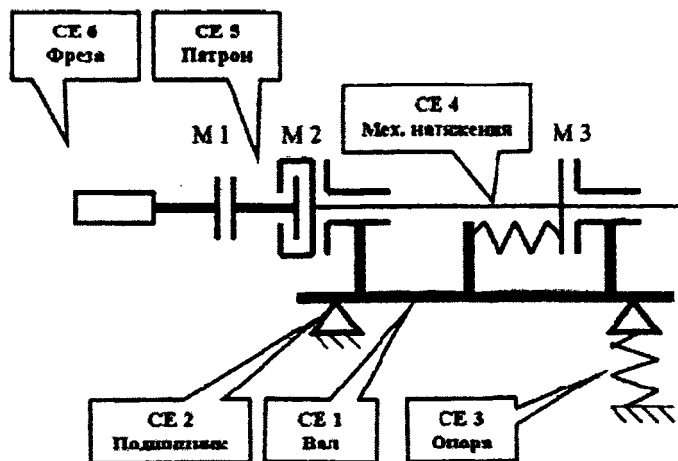


Рис. 4. Схема роторной системы высокоскоростного электрошпинделя

Вибрации высокооборотных шпинделей при холостом ходе определяются остаточными дисбалансами их роторов, а при эксплуатации – технологическими дисбалансами оправки с инструментом и переменными нагрузками от реакций сил резания. Роторы шпинделей станков балансируют как отдельные детали в собственных подшипниках, что может соответствовать 2-му классу точности по ГОСТ 22061 (ИСО 1940). Допустимость такой балансировки оценивается уровнем вибраций корпуса шпинделя в рабочем диапазоне оборотов. Согласно пределам оценки колебательных свойств амплитуда виброскорости электрошпинделя должна лежать в пределах 0.7-1.1 мм/с. В противном случае шпиндель следует балансировать в собственном корпусе с соблюдением условий эксплуатации, т.е. по 1-му классу. Так же не допускается эксплуатация шпинделя при вибрациях выше 4.5 -7.0 мм/с.

В процессе резания к ротору приложены неуравновешенные силы от дисбалансов, реакция силы резания и сила натяжения. Неуравновешенная сила от дисбалансов пропорциональна квадрату угловой скорости вращения шпинделя и коэффициенту динамичности вала, причём она меняется при каждой смене инструмента из-за погрешностей базирования фрезы, оправки и штока [6]. Сила натяжения, из-за зазора в направляющих штока (тяги), приложена эксцентрично. Возникает её радиальная составляющая и она действует как неуравновешенная сила. Значение этой силы не зависит от оборотов шпинделя, а зависит от точности штревели и величины зазора в направляющих тяги. Радиальная составляющая реакции сил резания приложена к режущей кромке фрезы, находящейся в контакте с заготовкой в течении части периода вращения ротора шпинделя и действует на ротор как неуравновешенная сила. При входе в контакт с заготовкой следующей режущей кромки, меняется направление действия неуравновешенной силы и т.д. Следовательно, сила резания выступает как периодическая сила и создаёт полигармонические вибрации. Зависимость значения радиальной составляющей силы резания, оцениваемое по вибрациям шпинделя, от параметров резания имеет различный характер.

Экспериментальные данные, полученные при высокоскоростной обработке алюминиевого сплава двух, трёх и четырёхзубыми фрезами из инструментальной быстрорежущей стали, показывают характер зависимостей вибраций шпинделя от параметров резания:

1. Резонансный – от скорости резания.
2. Экспоненциальный – от минутной подачи.
3. Монотонно возрастающий – от производительности.

С ростом вибраций шпинделя качество обработки снижается – увеличивается протяжённость следов обработки. Из результатов испытаний найдены оптимальные режимы высокоскоростного фрезерования для данной технологической системы:

- черновая обработка с шероховатостью поверхности по 4 классу должна выполняться при скорости резания – 750 м/мин (12000 мин⁻¹), минутной подаче – 4800 мм/мин, производительности – 430 см. куб. /мин;
- получистовая обработка с шероховатостью поверхности по 6 классу должна выпол-

няться при скорости резания – 850 м/мин (15000 мин-1), минутной подаче – 6000 мм/мин, производительности – 110 см. куб. /мин.

Каждая технологическая система будет иметь свои оптимальные режимы резания. При их выборе необходимо соблюдать следующие правила:

1. Балансировать все элементы роторной подсистемы не хуже, чем по 3-ему классу;
2. Измерять виброскорость шпинделя перед и в процессе резания;
3. Не допускать к эксплуатации шпиндель с вибрациями более 1.1 мм/с и биением оправки более 5 мкм;
4. Прекращать обработку при росте вибраций шпинделя более 4.5 мм/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А. SURFCAM 2002 plus. Что нового? САПР и графика. Июнь 2003. №6, с. 43-47. 2. Степанов А. Высокоскоростное фрезерование в современном производстве. CAM/CAE Observer. 2003. №4, с. 2-8. 3. Zelinski P. Five sides and one zero: Shopfloor programming for five-side parts. Mod. Mach. Shop. 2003. 76, № 7, с. 54-55. 4. Hans B. Kief. CNC for Industry. 2000. - р. 198. 5. Smith S. Тенденции развития высокоскоростной обработки. ASME, Journal of Manuf. Science, 2002, V. 119, Nr. 4, с. 664 - 666, ил. 3. 6. Popoli B. Шпиндели для высокоскоростной обработки. Tooling & Production. 2002. V. 68. Nr. 5, с. 60 - 62, ил. 3.

УДК 621.7.02

Цыганков Л.Е., Туромша В.И.

ПРОГРЕССИВНЫЕ МЕТОДЫ ПРАВКИ КРУГА ПРИ ПРОФИЛЬНОМ ШЛИФОВАНИИ

*РУПП «Станкозавод «Красный борец», Орша, Беларусь
Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь*

Введение

При профильном шлифовании правка является одним из основных факторов, обеспечивающих производительность и точность обработки деталей, а также качество поверхностного слоя. В настоящее время правка развивается в следующих направлениях:

- обеспечение возможности правки шлифовального круга со сложной рабочей поверхностью;
- автоматизация правки;
- повышение производительности и точности правки;
- упрощение наладки и сокращение простоев станка на правку;
- универсальность (отказ от применения трудоемких в изготовлении переналадке копиров, управление перемещениями правящего инструмента с помощью системы ЧПУ);
- стабилизация качества обработки деталей при профильном шлифовании и обеспечение одновременной обработки нескольких поверхностей.

В современной технологии машиностроения роль правки шлифовального круга постоянно возрастает. Традиционно правку шлифовального круга производили при помощи алмазного карандаша, устанавливаемого в универсальном поворотном приспособлении. Данный метод не отвечает современным требованиям по производительности и точности. Поэтому в последнее время, в связи с широким применением профилишлифовальных станков с ЧПУ, для правки шлифовальных кругов стали использоваться алмазные ролики.

Методы правки при помощи алмазных роликов

Эффективность применения правящих алмазных роликов особенно велика в массовом производстве, когда необходимо производить обработку больших партий деталей с одинаковым профилем (например, шлифование зубьев рулевой рейки гидроусилителя руля автомоби-

ля). Важным преимуществом правки роликами является стабильность качества обработки за период всей стойкости ролика из-за исключительно малого износа и усреднения результатов правки большим числом одновременно работающих алмазных правящих зерен. Конструкция алмазного ролика обеспечивает одновременное профилирование по всему контуру режущей кромки шлифовального круга, что обеспечивает высокую производительность правки.

Основными способами правки алмазными роликами являются следующие [1]:

а) по расположению ролика относительно шлифовального круга:

- с параллельными осями;
- с перекрещивающимися осями;
- с пересекающимися осями;

б) по форме режущей кромки шлифовального круга:

- цилиндрическая с прямолинейной образующей;
- цилиндрическая фасонная;
- коническая;
- плоская (торцовая);

в) по характеру перемещения ролика относительно шлифовального круга:

- с радиальной подачей на врезание (поперечная подача);
- с осевой продольной и радиальной поперечными подачами;
- с тангенциальной и радиальной поперечными подачами;
- с движением по сложной траектории и поперечной подачей.

Правка шлифовального круга при помощи профильного алмазного ролика

Этот метод правки является самым производительным, однако он имеет ряд недостатков, основной из которых - очень высокая стоимость качественных алмазных роликов, которая может быть оправдана только при крупносерийном производстве. Вторым недостатком - это необходимость постоянного контроля обработанного профиля, т.к. при потере геометрической точности профиля ролика отсутствует возможность компенсации погрешности и необходимо менять ролик.

Прецизионная профильная правка шлифовального круга позволяет реализовать совмещенное шлифование нескольких поверхностей, например, конической, цилиндрической и торцевой (рис. 1). В этом случае время правки мало зависит от ширины шлифовального круга, что позволяет значительно сократить простой станка на правку. В ряде случаев правка роликом по времени совмещается со сменой обрабатываемой детали и не вызывает дополнительного простоя станка.

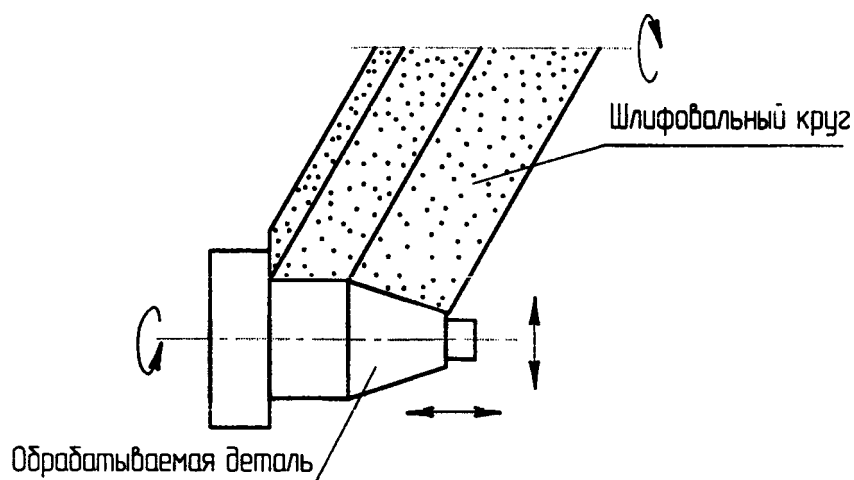


Рис. 1. Совмещенное шлифование нескольких поверхностей детали профильным шлифовальным кругом

Данный метод правки шлифовального круга имеет две разновидности.

Правка шлифовального круга методом врезания. В этом случае механизм правки установлен на зеркале стола профилишлифовального станка, а алмазный ролик только вращается и не имеет координатных перемещений (рис. 2).

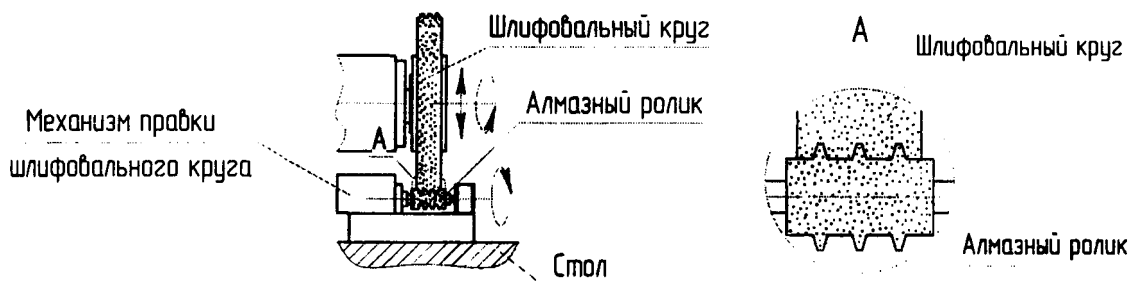


Рис. 2. Правка шлифовального круга при помощи профильного алмазного ролика методом врезания

По запрограммированному циклу шлифовальный круг выходит в зону правки и врезается на заданную величину в алмазный ролик (скорость врезания задается оператором и зависит от ширины шлифовального круга и его характеристик), после чего "отскакивает". Затем производится компенсация положения шлифовального круга на величину снятого при правке слоя абразива, а также компенсация частоты вращения шлифовального круга для поддержания заданной скорости резания. После завершения цикла правки начинается цикл шлифования деталей.

Количество правок за один цикл обработки задается оператором, например, правка только в начале цикла и перед чистовым шлифованием. Определяющими факторами являются: марка обрабатываемого материала и его твердость; характеристики шлифовального круга; ширина и длина обработки; марка смазывающе-охлаждающей жидкости и ее расход; и т.д.

Непрерывная правка шлифовального круга. Механизм правки устанавливается непосредственно на шлифовальной головке (рис. 3) и имеет независимую, управляемую от системы ЧПУ станка, координату перемещения алмазного ролика. С помощью системы ЧПУ изменяется и частота вращения ролика.

Алмазный ролик постоянно находится в контакте со шлифовальным кругом. В процессе шлифования ролик врезается в шлифовальный круг с заданной скоростью. При этом одновременно происходит компенсация положения шлифовального круга и частоты его вращения для поддержания постоянной скорости резания. Оптимальное отношение частоты вращения шлифовального круга к частоте вращения алмазного ролика составляет 0,8. С этой целью при изменении частоты вращения шлифовального круга автоматически изменяется частота вращения алмазного ролика.

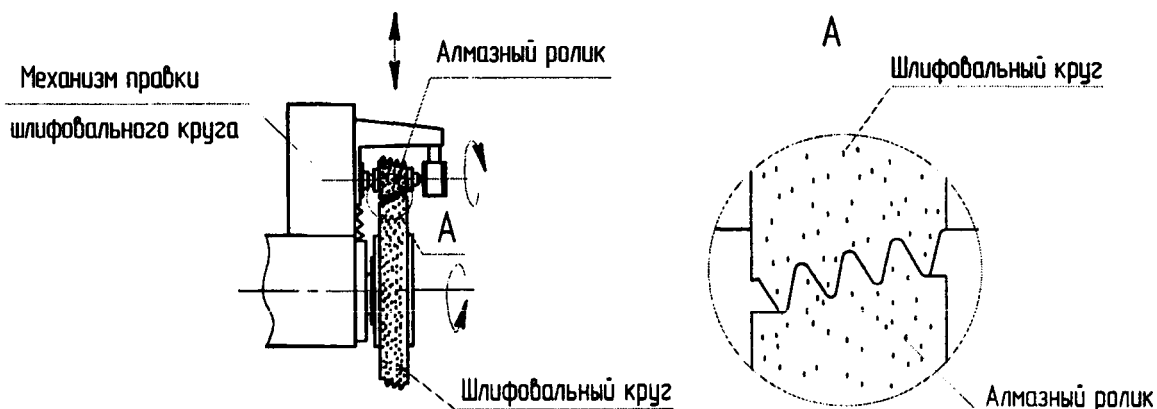


Рис. 3. Непрерывная правка шлифовального круга алмазным роликом

Данный метод правки шлифовального круга в максимальной степени обеспечивает стабильность качества обработанной поверхности, а именно - отсутствие прижогов и стабильную шероховатость. Поэтому он получил наибольшее применение в авиастроительной промышленности, и в частности, при изготовлении деталей реактивного двигателя (например, лопаток тур-

бины). Для таких деталей в первую очередь необходимо обеспечить требования безопасности. Из-за скрытых дефектов (прижогов) возникает вероятность поломки детали и, как следствие, выход из строя всего двигателя. Кроме того, сама такая деталь очень дорогая, поскольку для ее изготовления используется редкий титановый сплав и очень сложный метод получения заготовки.

В процессе шлифования лопаток турбины происходит очень быстрое засаливание шлифовального круга и ухудшаются его режущие свойства. Непрерывная правка шлифовального круга в сочетании с подачей СОЖ под давлением обеспечивает удаление частиц налипшего материала.

Для реализации данного метода правки требуется разработка сложного математического и программного обеспечения. Метод является дорогостоящим и оправдывается в конкретных случаях.

Правка шлифовального круга при помощи радиусных алмазных роликов

Этот метод имеет очень широкую универсальность и нашел применение в самых различных отраслях промышленности. Рассмотрим некоторые его разновидности.

Правка шлифовального круга при помощи двух алмазных роликов. Механизм правки установлен на зеркале стола профилешлифовального станка (рис. 4).

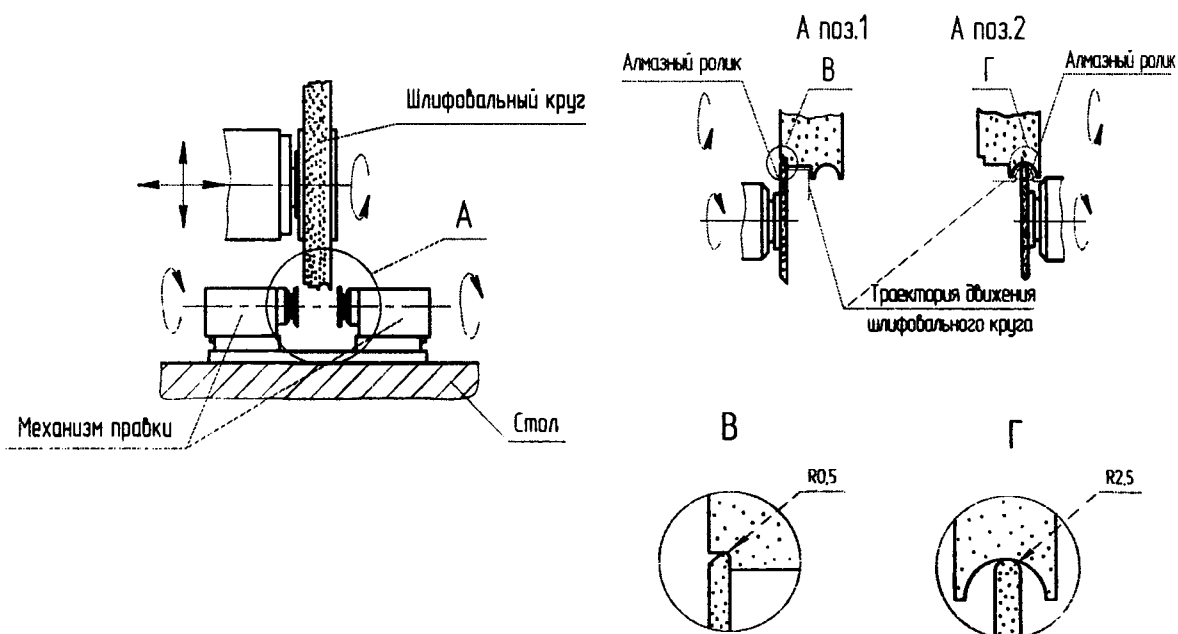


Рис. 4. Правка шлифовального круга двумя алмазными роликами

Механизм имеет два вращающихся алмазных ролика с различными радиусами при вершине. Подбором варианта радиусов и конфигурации вершин роликов можно добиться обеспечения правки профиля шлифовального круга практически любой сложности. Алмазные ролики не имеют координатных перемещений. Шлифовальный круг выходит в зону правки с заданной глубиной врезания. Перемещаясь с круговой интерполяцией относительно одного или другого ролика, или поочередно относительно обоих роликов в зависимости от сложности профиля, шлифовальный круг заправляется по заданному профилю. После правки шлифовальный круг "отскакивает" и происходит компенсация частоты его вращения и положения на величину снятого при правке слоя абразива.

Этот метод нашел наибольшее применение в инструментальной промышленности при изготовлении различных пресс-форм и сложного инструмента. Его широкая универсальность позволяет с минимальными переналадками производить обработку самых сложных деталей разного профиля.

Профиль, который воспроизводится на шлифовальном круге, ограничивается его шириной. В случае, когда ширина обрабатываемого профиля превышает ширину шлифовального круга, используется метод правки одним алмазным роликом.

Правка шлифовального круга одним алмазным роликом. Шлифовальный круг заправляется по выпуклому радиусу, а обработка профиля детали производится при помощи постепенного перемещения круга с заданной круговой или линейной интерполяцией (рис.5).

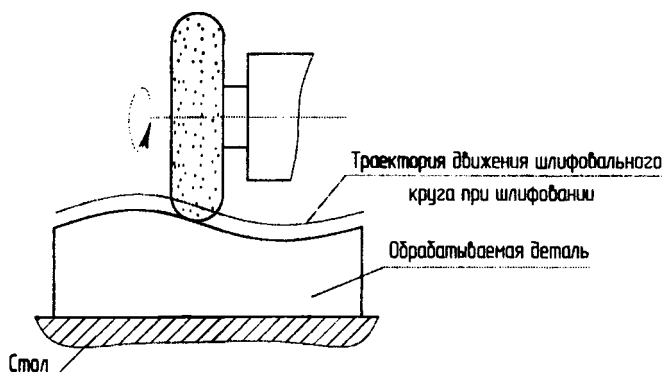


Рис. 5. Профильное шлифование детали радиусным шлифовальным кругом

Правка круга производится в процессе его перемещения по двум координатам относительно алмазного ролика (рис. 6). Недостатком метода являются значительные потери времени на переходы шлифовального круга в зону правки.

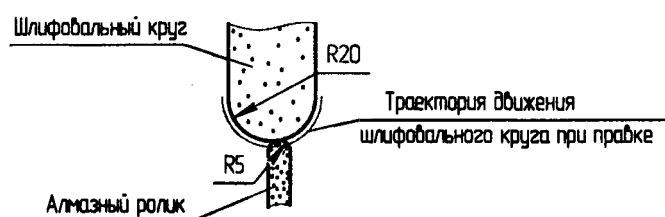


Рис. 6. Правка шлифовального круга одним алмазным роликом

Для повышения производительности при одновременном обеспечении высокой точности правки разработан метод, приведенный на рис. 7. Механизм правки имеет две независимые, управляемые от ЧПУ, координаты перемещений и установлен непосредственно на шлифовальной головке. Алмазный ролик находится непосредственно возле шлифовального круга. Правка происходит при помощи перемещения с линейной или круговой интерполяцией алмазного ролика относительно шлифовального круга. После правки в обязательном порядке происходит компенсация положения шлифовального круга и частоты его вращения.

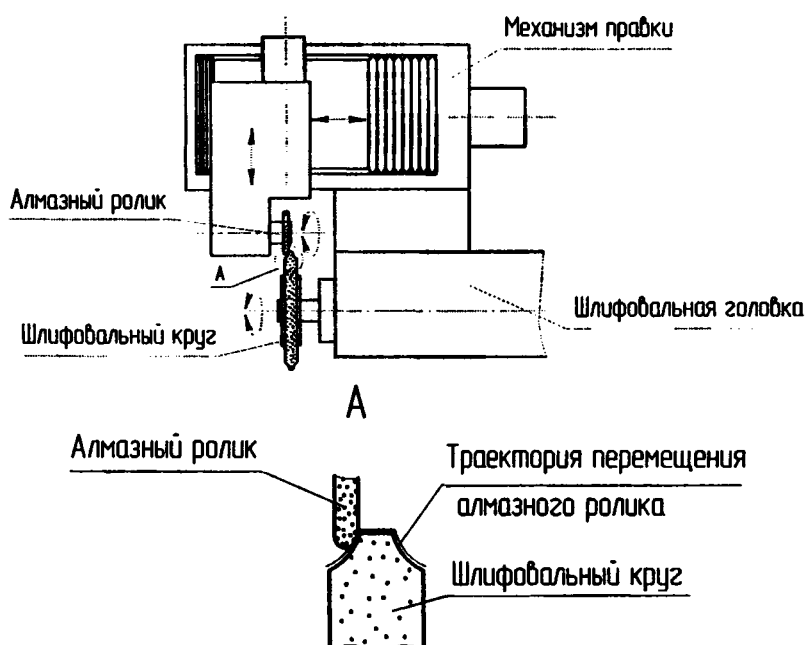


Рис. 7. Профильная правка шлифовального круга одним алмазным роликом, имеющим перемещения по двум независимым координатам

Основные преимущества метода:

- широкая универсальность (отпала необходимость в изготовлении копиров);
- обеспечение высокой производительности обработки (при обработке крупногабаритных деталей не тратится время на переходы в зону правки);
- высокая точность правки и обработки.

Заключение

В настоящее время на РУПП "Станкозавод "Красный борец" (г. Орша) наиболее часто применяется метод правки шлифовального круга одним алмазным роликом, имеющим перемещения по двум независимым координатам, управляемые от системы ЧПУ. Наряду с высокой точностью и производительностью, этот метод правки обеспечивает снижение себестоимости выпускаемой продукции и широкую универсальность. В последнее время предприятием выпущены станки с данным методом правки:

- шлищешлифовальный станок модели ОШ-628ФЗ;
- сферошлифовальный станок модели ОШ-643ФЗ;
- торцекруглошлифовальный станок модели ОШ-650ФЗ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ящерицын, П.И., Попов, С.А., Наерман, М.С. Прогрессивная технология финишной обработки деталей. – Мн.: Беларусь, 1978. – 176 с.

УДК 621.06.62

Данилов В.А.

СИНТЕЗ ВНУТРЕННИХ СВЯЗЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКИХ ГРУПП ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

*УО «Полоцкий государственный университет»
г. Новополоцк, Беларусь*

Введение. Кинематическая структура станка, как объединение множества кинематических групп движений исполнительных органов, определяя функциональные связи между ними в соответствии с реализуемыми схемами формообразования обрабатываемых поверхностей, служит основой его кинематики и конструкции [1]. Синтез рациональной кинематической структуры является ответственным этапом концептуального проектирования обрабатывающей системы станка, поскольку допущенные здесь недостатки не могут быть устранены при его конструировании и изготовлении. Данный этап включает оптимизацию структуры внешних и внутренних связей кинематических групп, расположения в них органов настройки с учетом применения современных систем управления и приводов координатных перемещений [2]. Важной задачей синтеза структуры сложной кинематической группы является построение ее внутренней связи, обеспечивающей траекторию исполнительного движения и, следовательно, точность формообразования обработанной поверхности. В статье рассматривается подход к решению этой задачи на базе типовых кинематических модулей [3].

Типы структур внутренних связей. Функциональные связи между движениями исполнительных органов осуществляются посредством кинематических цепей, многообразие которых в зависимости от характера движения (вращательное, прямолинейное, возвратно-поступательное или качательное) можно разделить на следующие основные виды:

- цепи, связывающие между собой вращающиеся исполнительные органы (например, цепи обката зубофрезерных и зубодолбежных станков);
- цепи, связывающие вращающиеся и поступательно перемещающиеся исполнительные органы (винторезные цепи резьбообрабатывающих и зубообрабатывающих станков);
- цепи, связывающие поступательно перемещающиеся исполнительные органы – суппорты (столы) токарных, фрезерных и др. станков;
- цепи, связывающие вращающиеся и возвратно-поступательно перемещающиеся исполнительные органы (например, винторезные цепи станков для нарезания замкнутых винтовых канавок).

По конструктивному исполнению кинематическая цепь может быть механическая, немеханическая или комбинированная. В общем случае количество кинематических цепей во внутренней связи на единицу меньше числа взаимосвязанных исполнительных органов, участвующих в создании сложного движения.

В зависимости от состава создаваемых движений исполнительных органов внутренние связи могут иметь бездифференциальную или дифференциальную структуру. Бездифференциальная структура возможна, если исполнительное движение образовано несоставными элементарными движениями, например $\Phi_v(B_1P_2P_3)$, $D(B_1P_2)$. При составном исполнительном движении, например $\Phi_v(P_1, P_2 + P_2')$, внутренняя связь должна иметь дифференциальную структуру, конструктивным признаком которой является наличие суммирующего механизма.

Функциональная связь между движениями исполнительных органов станка обеспечивается определенной совокупностью органов настройки параметров создаваемого движения, которая может быть одинаковой для различных внутренних связей и поэтому может рассматриваться как типовой кинематический модуль [2]. Для сокращения типов и количества модулей за конечные звенья кинематического модуля целесообразно принимать принадлежащие ей вращающиеся звенья. Последние при синтезе внутренней связи кинематически соединяют с исполнительными органами станка через соответствующие механизмы, обеспечивающие требуемый характер их движений (непрерывный, прерывистый, возвратно-поступательный, качательный и т.д.). При таком подходе на базе одного типового кинематического модуля могут быть построены различные виды внутренних связей, настраиваемых по общей методике.

Структура и характеристика типовых кинематических модулей. Структура кинематического модуля в соответствии с типом проектируемой внутренней связи, может быть бездифференциальной (рис. 1) или дифференциальной (рис. 2).

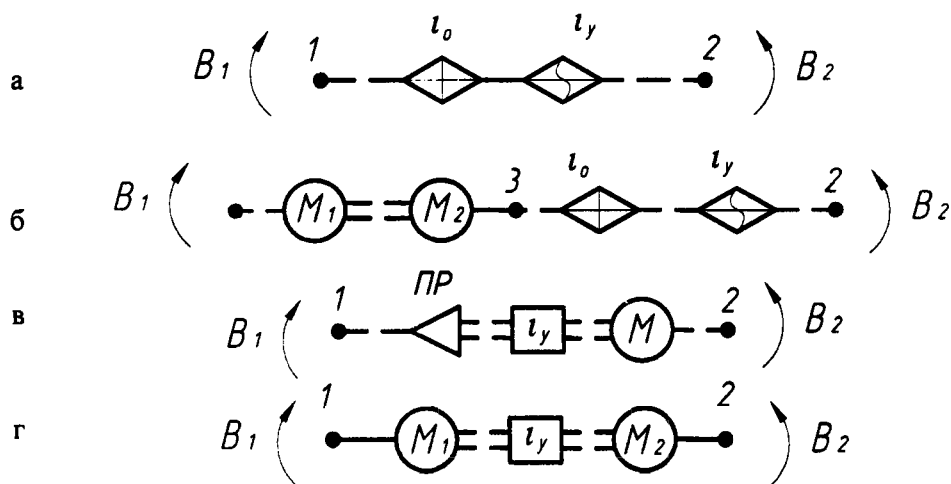


Рис. 1. Бездифференциальные кинематические модули внутренних связей кинематических групп:
а – механический; б – электромеханический, в, г – электронные

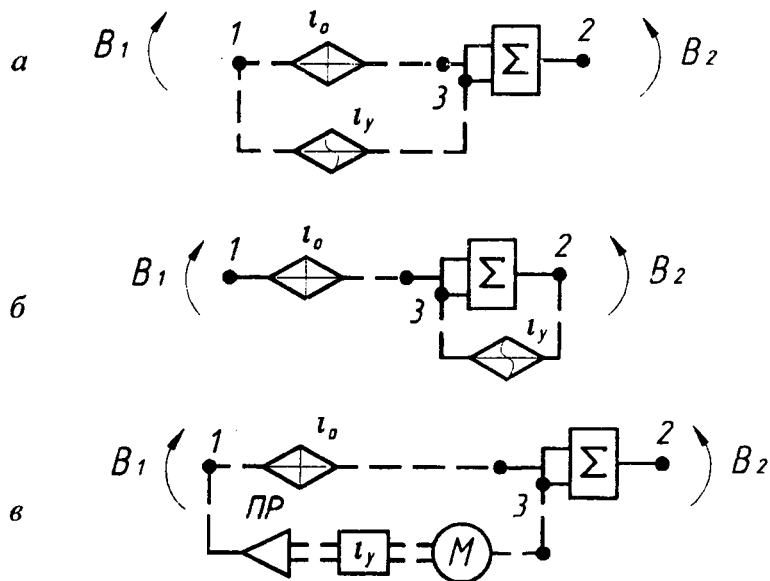


Рис. 2. Дифференциальные кинематические модули внутренних связей:
а, б – механические; в – комбинированный

Бездифференциальный механический модуль (рис. 1, а) в общем случае содержит между конечными звеньями 1 и 2 последовательно расположенные орган настройки постоянного передаточного отношения i_o и орган настройки i_y переменного передаточного отношения. Последний задает закон и диапазон изменения отношения скоростей движений конечных звеньев модуля или исполнительных органов, а i_o – абсолютные значения этого отношения. При постоянном отношении скоростей исполнительных органов отпадает необходимость в органе настройки i_y .

Электромеханический модуль (рис. 1, б) отличается от рассмотренного механического модуля кинематической цепью 1 – M_1 – M_2 – 3 с двумя электрически взаимосвязанными синхронными электродвигателями M_1 и M_2 , имеющими одинаковую частоту вращения.

Функциональная связь движений исполнительных органов в этом случае обеспечивается органами настройки механической части модуля, а применение синхронных электродвигателей позволяет уменьшить число валов и зубчатых передач и благодаря этому повысить кинематическую точность станка. На применении данного модуля основана, например, кинематика зубошлифовальных станков, работающих абразивным червяком [1]. Настройка частот вращения исполнительных органов при постоянном отношении их значений обеспечивается синхронным регулированием частот вращения электродвигателей M_1 и M_2 , что достигается подключением обоих двигателей к одному преобразователю частоты переменного тока [4, 5].

Модуль электронного типа (рис. 1, в) используется во внутренних связях станков с ЧПУ с ведущей координатой, когда один исполнительный орган получает независимое вращение (ведущая координата) а его связь с движением второго исполнительного органа обеспечивается устройством управления i_y в сочетании с датчиком-преобразователем ПР. Такое построение внутренней связи характерно, например, для винторезных цепей токарных станков. Кинематический модуль (рис. 1, в) позволяет одновременно управлять скоростями движений обоих исполнительных органов станка, осуществляемых от отдельных электродвигателей M_1 и M_2 по алгоритму, реализуемому системой управления i_y , что имеет место в станках с контурными системами ЧПУ.

Дифференциальные модули (рис. 2) благодаря суммирующему механизму Σ позволяют создавать вращение конечного звена 2 как сумму двух движений: равномерного B_2' и неравномерного \tilde{B}_2'' , т.е. исполнительное движение ($B_2 = B_2' + \tilde{B}_2''$). Механический модуль (рис. 2, а) обеспечивает независимую настройку составляющих B_2' и \tilde{B}_2'' исполнительного движения соответственно органами i_o и i_y . Модуль (рис. 2, б) отличается применением замкнутого суммирующего механизма, так как его ведущее звено 3 связано кинематически с конечным звеном 2 модуля. Это обеспечивает компактность конструкции и более высокую кинематическую точность модуля, что позволяет эффективно применять его в коррекционных устройствах.

Комбинированный модуль (рис. 2, в) содержит между конечным звеном 1 и суммирующим механизмом Σ две параллельные кинематические цепи: механическую с органом i_o для настройки составляющей B_2' движения B_2 и немеханическую цепь $1 - PP - i_y - M - 3 - \Sigma$ для настройки его составляющей \tilde{B}_2'' . Применение такого модуля целесообразно при неравномерном составном вращательном или поступательном движении исполнительного органа, в частности, в станках для обработки винтовых поверхностей переменного шага и колес с модифицированными зубьями [6].

Синтез внутренних связей кинематических групп на базе типовых модулей. На базе типовых кинематических модулей могут быть построены внутренние связи кинематических групп различных видов исполнительных движений. Выбор в качестве базы того или иного модуля зависит от требований к универсальности и точности станка, применяемой системы управления, компоновочного и других факторов. Основой синтеза внутренней связи является кинематика создаваемого исполнительного движения. Рассмотрим применение типовых модулей при синтезе внутренних связей кинематических групп, создающих винтовое исполнительное движение переменного шага.

Кинематическая группа винтового движения имеет два исполнительных органа – шпиндель 1 и суппорт 2 (рис. 3), движение каждого из которых в общем случае может создаваться как сумма постоянного и переменного элементарных движений. Поэтому при синтезе кинематической структуры группы следует учитывать, что исполнительное винтовое движение может быть двухэлементарным ($B_1, \tilde{\Pi}_2$), трехэлементарным ($B_1, \Pi_2' + \tilde{\Pi}_2''$) или ($B_1' + \tilde{B}_1'', \Pi_2$) и четырехэлементарным ($B_1' + \tilde{B}_1'', \Pi_2' + \tilde{\Pi}_2''$), каждому из которых соответствует внутренняя связь, построенная на соответствующем кинематическом модуле и обеспечивающая траекторию винтового движения с определенным законом изменения шага.

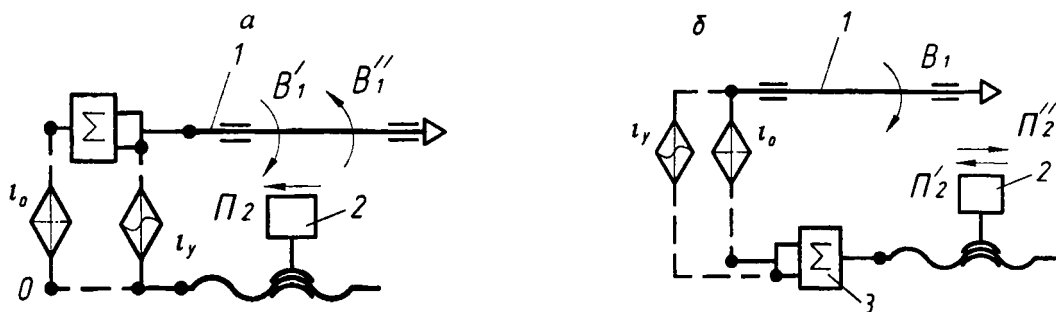


Рис 3. Структуры внутренних связей кинематических групп движения переменного шага на базе типового дифференциального механического модуля:

а – с составным вращением шпинделя;
б – с составным движением суппорта

В зависимости от количества элементарных движений (два, три, четыре) и их распределения между исполнительными органами, возможны четыре типа структур внутренних связей групп винтового исполнительного движения, из которых больший практический интерес представляют первые три, на которых основана кинематика большинства известных станков для обработки винтовых поверхностей переменного шага [1, 6].

Внутренняя связь первого типа обеспечивает траекторию двухэлементарного винтового движения $(B_1, \tilde{\Pi}_2)$. Поскольку оба элементарных движения несоставные, то для ее построения следует использовать бездифференциальный механический модуль (см. рис. 1, а), одно из конечных звеньев которого кинематически связано со шпинделем, несущим заготовку, а второе – с тяговым устройством суппорта, несущего режущий инструмент.

В соответствии со структурой используемого модуля его органы настройки i_y и i_o в этом случае расположены последовательно в цепи, связывающей элементарные движения, поэтому шаг H винтового движения изменяется прямо пропорционально передаточному отношению i_y : $H = ai_y i_o$, где a – постоянная кинематической цепи внутренней связи. Реализуемая зависимость для H определяет технологические возможности и область применения структуры. Диапазон R_H изменения шага в данном случае равен диапазону R_y регулирования передаточного отношения i_y : $R_H = Ri_y = i_{y\max} / i_{y\min}$, где $i_{y\max}, i_{y\min}$ – предельные значения передаточного отношения органа настройки i_y .

Внутренние связи кинематических групп, создающих исполнительные движения с составными элементарными движениями, должны быть построены на дифференциальном кинематическом модуле, например, механическом (см. рис. 2, а) или комбинированном (см. рис. 2, в). На рис. 3 представлены две структуры этого типа, основанные на одном кинематическом модуле (рис. 2, а).

В обоих случаях внутренняя связь кинематической группы винтового движения формообразования содержит между шпинделем и суппортом две настраиваемые кинематические цепи, одна из которых с постоянным передаточным отношением i_o обеспечивает настройку постоянной составляющей шага H_o , а вторая, с переменным передаточным отношением i_y – настройку его переменной составляющей. Структуры различаются присоединением к ведомому звену суммирующего механизма или шпинделя 1 (рис. 3, а) или суппорта 2 (рис. 3, б), что обуславливает разные законы изменения шага винтового движения и область применения станка.

В первом случае шпиндель 1 получает составное вращательное движение $(B_1' + \tilde{B}_1'')$, а суппорт – поступательное движение Π_2 , которые образуют трехэлементарное движение формообразования вида $\Phi(B_1' + \tilde{B}_1'', \Pi_2)$. Изменение шага винтового движения осуществляется за счет движения \tilde{B}_1'' . Такая кинематика формообразования винтовой поверхности эффективна при обработке винтовых канавок типа шлицев переменного шага [6].

Шаг винтового движения описывается зависимостью $H = 1/(\pm ci_y \pm di_o)$, где c и d – постоянные кинематических цепей внутренней связи, при этом максимальный диапазон изменения шага R_H винтового движения обеспечивается при разнонаправленных движениях B_1' и \tilde{B}_1'' и составляет величину, превышающую Ri_y .

Это позволяет расширить технологические возможности станка по шагу обрабатываемых поверхностей, что является преимуществом данной структуры по сравнению с бездифференциальной.

Внутренняя связь по рис. 3, б обеспечивает траекторию винтового движения $(B_1, \Pi_2' + \tilde{\Pi}_2'')$, шаг которого линейно зависит от i_y : $H = \pm ai_y \pm bi_o$, где a, b – постоянные кинематических цепей внутренней связи. Такая кинематика формообразования эффективна

например, при обработке резьб переменного шага. При противоположно направленных движениях Π'_2 и $\tilde{\Pi}_2^*$ диапазон изменения шага винтового движения (обработанной поверхности) обеспечивается при меньшем значении диапазона изменения передаточного отношения Ri_y , а при одинаковом направлении этих движений достигается максимальное значение шага обработанной поверхности.

Структуры внутренних связей, построенные на базе типового модуля по рис. 2, б, целесообразно использовать при проектировании станков с коррекционными устройствами. Оснащение винторезной цепи замкнутым суммирующим механизмом, например, в виде передачи винт-гайка обеспечивает повышение кинематической точности и упрощение конструкции. Формообразование винтовой линии (направляющей поверхности резьбы) в этом случае осуществляется движением $(B_1, \Pi'_2 + \tilde{\Pi}_2^*)$, т.е. перемещение суппорта Π_2 является составным. Движение $\tilde{\Pi}_2^*$ создается коррекционным устройством и складывается с движением Π'_2 посредством суммирующего механизма. Благодаря движению $\tilde{\Pi}_2^*$ обеспечивается возможность компенсировать погрешность винторезной цепи или нарезать специальные резьбы.

Для повышения кинематической точности цепей внутренней связи важно обеспечить в них минимальное количество кинематических пар и минимальную протяженность механических связей. Указанным требованиям в полной мере отвечает построение внутренних связей на базе бездифференциального электромеханического модуля комбинированного типа (см. рис. 1, б) или немеханических модулей (рис. 1, в, г), характерных для станков с ЧПУ.

На электромеханическом модуле основана, например, цепь обката зубошлифовального станка [5], которая снабжена двумя электрически связанными синхронными электродвигателями и общим для них преобразователем частоты тока.

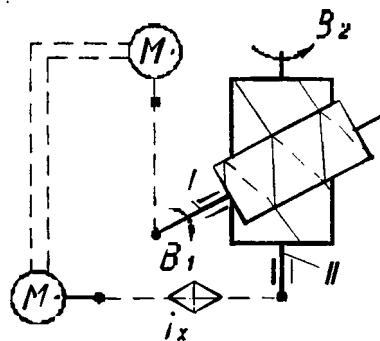


Рис. 4. Структурная схема цепи обката зубошлифовального станка с электромеханическим модулем

Двигатель M_1 (рис. 4.4) обеспечивает вращение инструментального шпинделя I , а двигатель M_2 – стола II через орган настройки i_x со сменными зубчатыми колесами. Благодаря этому создается движение обкатки $\Phi(B_1 B_2)$. Аналогично построена на том же модуле цепь обката зубодолбежного станка [4].

В зубообрабатывающих станках с ЧПУ указанный на рис. 4 орган настройки i_x отсутствует, а согласование вращательных движений инструмента и заготовки обеспечивается модулем по рис. 1, в.

Таким образом, построение кинематических связей на базе типовых кинематических модулей позволяет унифицировать кинематические структуры разных по назначению станков, что является основой их совершенствования в направлении повышения точности и расширения технологических возможностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотенок, А.А. Кинематическая структура металлорежущих станков. – М.: Машиностроение, 1970. – 403 с.
2. Данилов В.А. Особенности построения кинематической структуры станков для обработки сложных поверхностей // Вестник Полоцкого государственного университета; серия В «Прикладные науки», – 2006. – №12 – С. 2 – 11.
3. Данилов В.А. Синтез и оптимизация кинематической структуры станков с использованием типовых модулей // СТИН. – 1999. – № 7. – С. 9–15.
4. . Патент 3999 ВУ. МПК (2006), В23F 5/00. Зубодолбежный станок / Данилов В.А.– Заявка № u20070329; Оpubл. 2007.10.30.
5. Патент 4174 ВУ. МПК (2006), В23F 5/00. Зубошлифовальный станок / Данилов В.А.– Заявка № u20070328; Оpubл. 2008.02.28.
6. Данилов В.А. Формообразующая обработка сложных поверхностей резанием. – Мн.: «Наука и техника», 1995. – 264 с.

УДК 004.912

Романюк Г.Э., Савенко Н.В.

СИСТЕМА ПОПОЛНЕНИЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СЛОВАРЕЙ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Терминологическая лексика была и остается постоянным объектом пристального внимания исследователей. Сформировалась и активно развивается специальная отрасль языкознания – терминоведение [1]. Для любой отрасли науки и техники важно иметь словарь, в котором содержится специальная лексика, необходимая специалистам из данной отрасли.

С терминоведением тесно связана терминография — наука о составлении словарей специальной лексики. Ряд специалистов даже рассматривает терминографию как раздел терминоведения. Многие проблемы, исследуемые терминоведами, возникли в практике разработки специальных словарей, и решение этих проблем влияет на методы составления словарей. В то же время изучение любой области специальной лексики неизменно связано с терминографией, поскольку результаты работы по выявлению, исследованию и упорядочению терминологии обычно оформляются в виде словаря.

На кафедре «Интеллектуальные системы» БНТУ разработана система пополнения специализированных терминологических словарей и осуществлена ее программная реализация. Отправной точкой к выполнению работы являются следующие начальные условия:

- 1 имеется начальный словарь терминов по специальности;
- 2 имеется корпус текстов по специальности;

Необходимо пополнить словарь новыми терминами из представленных текстов и при этом произвести как можно более полный поиск.

Для реализации данного проекта применены следующие программные продукты и технологии:

- 3 Java 1.6 – объектно-ориентированный язык программирования, обладающий мощными библиотеками классов-обработчиков потоков данных;
- 4 MySQL Server 5.0 – сервер БД, разработанный компанией Sun Microsystems. Выбран как один из самых актуальных серверов хранения реляционных баз данных. Является идеальным решением для малых и средних приложений;
- 5 Eclipse – бесплатная интегрированная среда разработки, базовое средство для разработки ПО на языке Java;

- 6 Java DataBase Connectivity, (JDBC) — соединение с базами данных на Java — платформо-независимый промышленный стандарт взаимодействия Java-приложений с различными СУБД, реализованный в виде пакета `java.sql`, входящего в состав Java SE;
- 7 NaviCat — удобная дружественная для пользователя СУБД, позволяющая максимально комфортно создать базу данных;
- 8 Swing — библиотека создания графических оконных интерфейсов; компоненты Swing поддерживают специфические динамически подключаемые виды и поведения, благодаря которому возможна адаптация к графическому интерфейсу платформы. Таким образом, приложения, использующие Swing, могут выглядеть как родные приложения для данной операционной системы [2].

Описание работы системы.

Система представляет собой текстовый анализатор, принимающий на вход заданный текст, а на выходе предоставляющий набор слов, которые по указанному алгоритму поиска имеют все предпосылки быть терминами данной области знаний. Окончательное решение предоставляется эксперту, как и приведение терминов к нормализованному виду. Функциональная схема системы представлена на рис. 1.

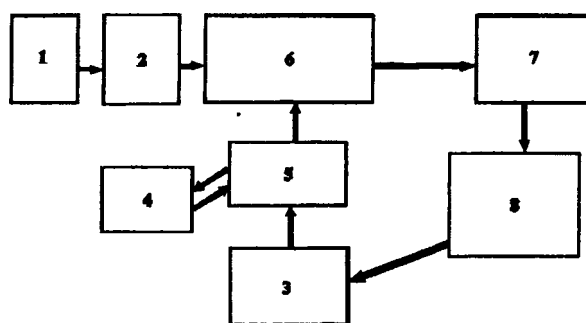


Рис. 1. Функциональная схема системы пополнения словаря

- | | |
|-----------------------|----------------------------------|
| 1 - входной текст; | 5 - морфологический анализатор; |
| 2 - парсер; | 6 - поисковик; |
| 3 - исходный словарь; | 7 - предварительный итог поиска; |
| 4 - БД окончаний; | 8 - эксперт; |

Входной текст (1) поступает в парсер (2), где он разделяется на слова. Из входного текста удаляются излишние символы (знаки препинания, пробелы и т.д.). Одновременно с этим слова из существующего словаря (3) поступают в морфологический анализатор (5), где образуются различные их словоформы на основе базы окончаний (4). Эти действия выполнены для реализации более полного поиска. После реализации алгоритма поиска (6) на рассмотрение эксперта (8) поступают слова (7), которые, возможно, и являются терминами. Эксперт принимает решение о пригодности этих слов для занесения в словарь и может привести их к нормальному виду (именительный падеж, единственной число) либо забраковать и удалить. Далее он добавляет новые термины в словарь (3).

Вход системы (1) представляет собой текстовый файл, в котором содержится текст по специальности. Файл может находиться в любом месте локальной машины и иметь стандартное расширение `*.txt` или `*.doc`.

Парсер (2) представляет из себя метод `parse()` класса `Searcher`. Он написан на языке Java на основе стандартного класса `StreamTokenizer` - класса-обработчика входных потоков текстовых данных.

По сути, исходный словарь (3) является вторым входом системы. Исходный словарь хранится в базе данных (БД) на сервере `MySQL Server` в таблице `word` (рис. 2) и первоначально проектируется при помощи СУБД `NaviCat`. Для того чтобы получить данные из БД, применяется технология `JDBC`. Подключается драйвер `mysql-connector-java-5.0.5-bin.jar`. Выполняется

запрос на языке SQL: “SELECT * FROM word”, и термины упаковываются в стандартный класс-множества TreeSet. [3].

	word
▶	материал
	сенсор
	слой

Рис. 2. Таблица БД, содержащая термины словаря.

База окончаний (4) хранится в той же БД, что и исходный словарь в таблицах 9lendings, soglendings и первоначально также проектируется при помощи СУБД NaviCat. Таблицы содержат все возможные окончания для словоформ. На данном этапе реализовано только получение всех падежных форм единственного и множественного числа. Но при необходимости можно легко создать прилагательные и другие формы слов, просто добавив соответствующие окончания в базу окончаний. Созданы 2 таблицы окончаний: «твёрдоконечная» и «я-конечная» (рис. 3). а) окончания слов, заканчивающихся на «я»; б) окончания слов, заканчивающихся на согласную.

Морфологический анализатор (5) представляет собой модуль (класс MorfologicAnalyser), который принимает слова из словаря в форме единственного числа именительного падежа. Затем он определяет, на какую букву заканчивается слово для применения соответствующих правил русского языка по склонению слов по падежам и числам. В зависимости от буквы из базы окончаний при помощи соответствующего SQL-запроса достаются соответствующие окончания и путём конкатенации (присоединения) к основам словарных слов образуются их словоформы.

а)		
	▶	е
		ей
		и
		й
		ю
		я
		ям
		ями
		ях

б)		soglendings
	▶	
		а
		ам
		ами
		ах
		в
		ов
		ом
		у
	ы	

Рис. 3. Таблицы БД окончаний

Самым сложным является алгоритм поиска (6). Был разработан следующий алгоритм. Все словоформы словарных слов имеют слова, которые в тексте находятся в непосредственной близости от них – здесь речь идёт о парах словосочетаний. Логично предположить, что слова, которые употребляются с терминами, сами могут быть терминами (но не обязательно, для чего и нужен эксперт на конечном этапе). Поэтому поиск проводится следующим образом: в тексте находится словоформа, потом слова слева и справа от нее добавляются в выходной лист для будущего рассмотрения экспертом. Данный алгоритм несколько теряет свою эффективность при повторном анализе одного и того же документа, но всё же является достаточно мощным инструментом, который позволит достать из текста все термины при нескольких (в зависимости от объёма) запусках.

Программной реализацией данного модуля является метод *search()* класса *Searcher*.

Предварительный итог поиска представляет собой виртуальный Java-объект (7), отображённый на экране в удобной для эксперта форме – таблице. В нём находятся слова, которые, возможно, являются терминами. Слова подвергаются удалению/редактированию экспертом.

Экспертом является пользователь программы. Он на основе своих знаний решает, является слово термином или нет. Удаляет слова-не-термины из таблицы предварительных итогов поиска, а также приводит слово в нормальный вид (именительный падеж, единственное число). Оставшиеся слова эксперт добавляет в терминологический словарь. На этом один цикл работы системы закончен. При необходимости цикл повторяют.

Описание интерфейса программы.

Интерфейс программы выполнен с применением технологии Swing языка Java. Swing по своей сути – пакет классов, содержащих все необходимые методы создания оконных приложений. Стартовое окно программы (рис. 4) отображает исходный словарь терминов, а также кнопки ‘Начать поиск’, ‘Обновить’, ‘Удалить’, ‘Закреть’.

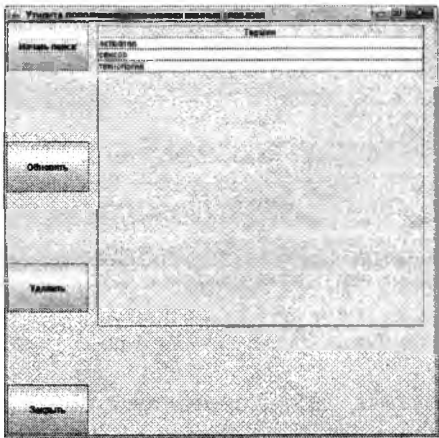


Рис. 4. Стартовый фрейм

Кнопка ‘Закреть’ приводит к выходу из программы.

Кнопка ‘Удалить’ удаляет слово, выбранное мышкой, из словаря. Поводом для удаления может быть ошибка эксперта на этапе добавления новых терминов, т.е. добавление им несоответствующего слова. Так как слово, удалённое из таблицы, на экране автоматически удаляется из базы данных, то по нажатию на кнопку выскакивает предупреждение (рис. 5) с вариантами ‘OK’ и ‘NO’.

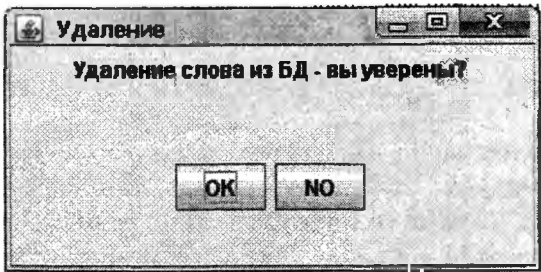


Рис. 5. Подтверждение удаления

Кнопка ‘Обновить’ служит для того, чтоб слова, добавленные экспертом, отобразились на экране.

Кнопка ‘Начать поиск’ вызывает окно определения адреса входного текстового файла (рис. 6), по которому будет проводиться поиск.

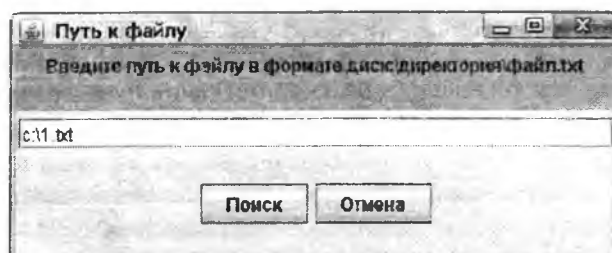


Рис. 6. Фрейм ввода пути к файлу

Путь к файлу должен быть введен строго в том формате, который описан в окне, показанном на рис. 6 и должен существовать на локальной машине. При несоблюдении одного из этих условий фрейм укажет на ошибку (рис.7), и на экран будет выведен пустой фрейм найденных слов.

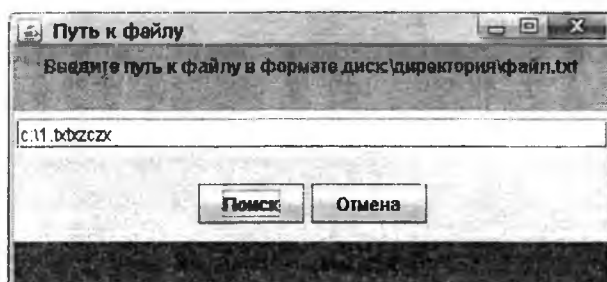


Рис. 7. Ошибка пути к файлу

При правильном вводе пути к файлу проводится поиск и на экран выводится фрейм слов, которые, возможно, являются терминами. Результат поиска показан на рис. 8.

Эту таблицу эксперт может редактировать, выбрав мышкой строку и просто перепечатав слово в нормализованный вид. Также можно нажатием кнопки 'Удалить' удалять слова не-термины.

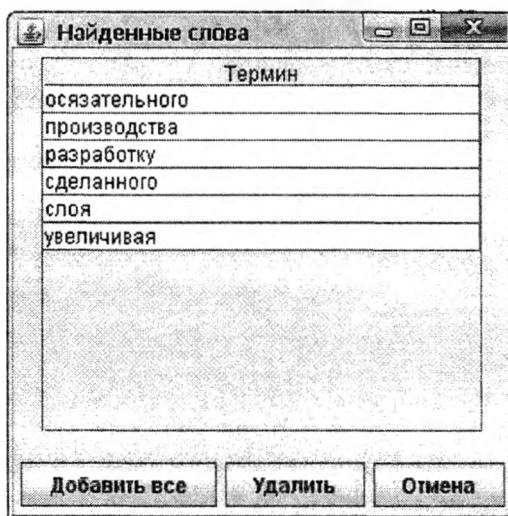


Рис. 8. Найденные слова

Выбрав все нужные слова, необходимо нажать кнопку 'Добавить все'. Фрейм найденных слов закрывается. Теперь при нажатии на фрейме словаря кнопки 'Обновить' таблица обновляется (рис. 9) и словарь пополняется новыми терминами.

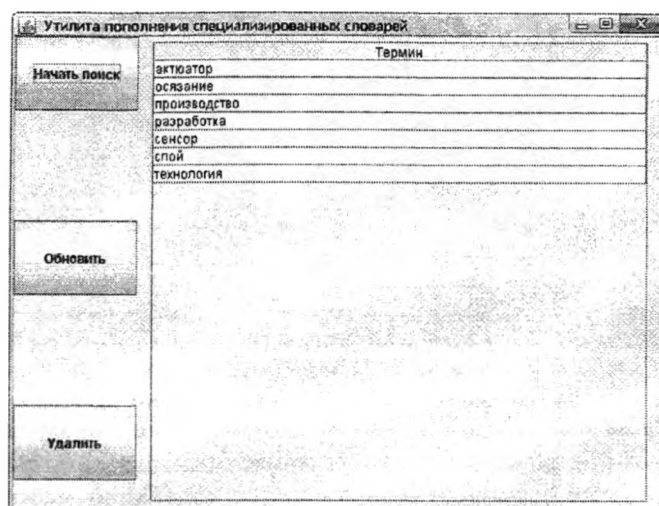


Рис. 9. Результат поиска

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейчик, В. М. Предмет, методы и структура терминоведения / В. М. Лейчик — 3-е изд. - М.: ЛКИ, 2007. - 256 с. 2. Портянкин, И. Swing: Эффектные пользовательские интерфейсы / И. Портянкин.— Санкт-Петербург: Питер, 2005. - 528 с. 3. Дейт, К. Дж. Введение в системы баз данных / К. Дж. Дейт.— 8-е изд. — М.: Вильямс, 2006.- 1328 с.

УДК 621.923

Фельдштейн Е.Э.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ПРАВКИ ФАСОННЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ АЛМАЗНЫМИ ПРАВЯЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

*Зеленогурский университет
Зелена Гура, Польша*

Правка и профилирование шлифовальных кругов производится с целью устранения следов их износа (налипов металла, выкрашиваний и т.п.) и потерь точности профиля. В зависимости от требований к точности и шероховатости обрабатываемой поверхности в промышленности традиционно используют следующие методы правки [1]: обтачиванием алмазным инструментом; обкатыванием абразивными, твердосплавными и металлическими дисками; шлифованием кругами из карбида кремния и алмазно-металлическими роликами; накатыванием роликом. Правильный выбор метода правки особенно важен в случае восстановления фасонных поверхностей шлифовальных кругов. В настоящее время возможности эффективной правки значительно расширились благодаря развитию конструкций и технологии изготовления алмазных правящих инструментов.

Правка фасонных профилей шлифовальных кругов может быть осуществлена различными кинематическими способами, с использованием неподвижных или вращающихся правящих инструментов (рис. 1).

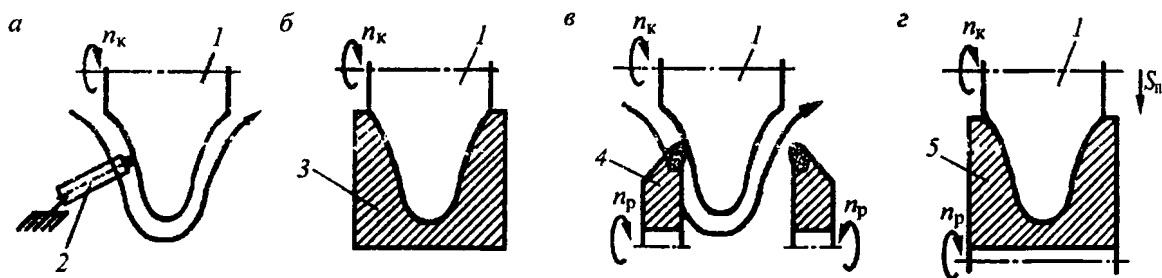


Рис. 1. Способы правки шлифовальных кругов: 1 – неподвижным алмазным карандашом; 2 – неподвижным профильным диском (шарошкой); 3 – вращающимся диском простой формы; 4 – вращающимся профильным диском [2, 3]

Неподвижные столбчатые правящие инструменты не оказывают влияния на относительную скорость правки в точке контакта и требуют стабильного прочного закрепления в оправке. В противном случае возможно возникновение колебаний, которые могут вызвать появление микротрещин в связке шлифовального круга и понижают его стойкость. Микротрещины возникают также в результате слишком большой глубины правки, поэтому последняя не должна превышать 0,03 мм за один проход, а если требуется обеспечить отсутствие рисок на поверхности детали – 0,01 мм. Правка с нулевой глубиной не улучшает качество поверхности шлифуемой детали, поскольку в этом случае не обеспечивается оптимальная топография поверхности круга. Если в процессе шлифования имеют место значительные погрешности формы обработанной поверхности детали либо большие налипсы на поверхности круга, рекомендуется использовать многопроходную правку.

При правке кругов с зёрнами из эльбора или спеченного корунда износ правящего инструмента ускоряется. Поэтому в качестве связки рядов столбчатых алмазных зёрен используются твёрдые сплавы или вольфрам.

При выборе режима правки наиболее существенную роль играет скорость перемещения инструмента v_s (его продольная подача). Ее можно определить на основе зависимости [4]:

$$v_s = \frac{b_{п.н} n_k}{k_n},$$

где $b_{п.н}$ – активная ширина правящего инструмента; n_k – частота вращения шлифовального круга; k_n – коэффициент перекрытия.

Для чернового шлифования рекомендуется $k_n = 2 \dots 3$, для чистового – $3 \dots 4$, для окончательного – $4 \dots 6$, для прецизионного шлифования k_n выше 6.

Вращающиеся правящие инструменты работают в условиях формования (см. рис. 1, а) или профилирования (см. рис. 1, з) поверхности круга. Формующая правка образует контур круга вследствие криволинейного перемещения вращающегося правящего инструмента, имеющего форму диска, относительно круга по заданной траектории. В случае профилирующей правки профиль ролика соответствует форме профиля круга. Отсюда легко выделить наиболее важные условия правки: для формующей правки это радиус R рабочей поверхности инструмента и коэффициент перекрытия, для профилирующей правки – расположение алмазов на поверхности правящего инструмента, а также радиальная подача ролика относительно шлифовального круга, направления вращения и соотношение скоростей вращения ролика и круга.

На современных станках для шлифования профилей зубчатых колес используются преимущественно формующие ролики в связи с лучшей стабильностью процесса правки во времени. Активная ширина роликов меньше ширины шлифовального круга. Требуемый профиль круга формируется при использовании системы ЧПУ станка. Ролики при этом крепятся на дополнительном шпинделе. Большое количество кристаллов алмазов в правящем инструменте обеспечивает стабильность размеров и формы шлифовального круга, т.е. их высокую размерную стойкость. Работоспособность самих роликов также может многократно восстанавливаться без потери их правящих характеристик.

Формующие правящие ролики отличаются в первую очередь по количеству и расположению кристаллов алмазов (рис. 2).

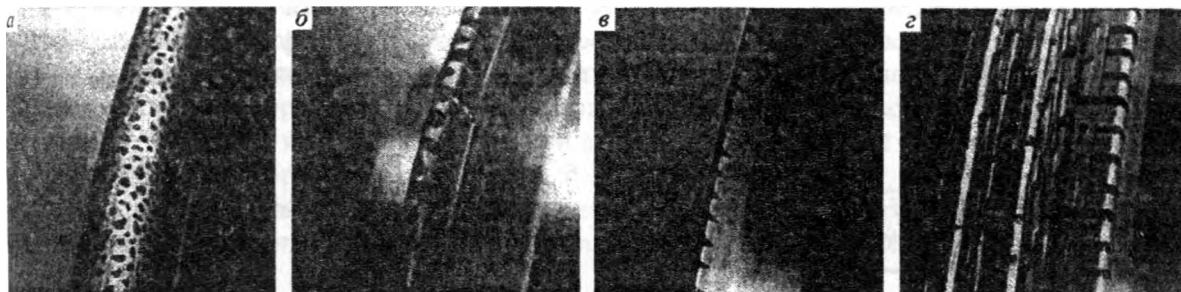


Рис. 2. Разновидности рабочей поверхности формирующих алмазных роликов: а – случайное расположение алмазов ($R > 1$ мм); б – упорядоченное расположение алмазов ($R > 0,3$ мм); в – столбчатые алмазные зерна ($R > 0,03$ мм); г – многорядное расположение фасонных алмазных пластин ($R > 0,06$ мм) [2, 3]

Ролики с радиусом округления $R > 0,4$ мм (преимущественно с $R = 1,5 \dots 5,0$ мм) изготавливаются со случайным расположением алмазов на правящей поверхности. Работоспособность таких роликов обычно не восстанавливается, либо осуществляется в ограниченном объеме, когда кристаллы алмазов слабо изношены и не наблюдается существенных изменений в величине радиуса R .

Меньшие радиусы округления ($R = 0,3 \dots 0,5$ мм) обеспечиваются при использовании столбчатых (игольчатых) кристаллов алмазов. Наиболее эффективно расположение алмазов в виде «замка-молнии». Кристаллы в этом случае попеременно располагаются на боковых сторонах профиля ролика и близко сходятся друг с другом в зоне округления. Кристаллы глубоко заходят в слой связки, что обеспечивает их надежное удерживание как при шлифовании радиуса, так и в ходе правки. Для таких правящих роликов могут использоваться как естественные монокристаллы алмазов (рис. 3, а), так и синтетические моно- и поликристаллы (рис. 3, б), полученные осаждением из газовой фазы. Синтетические столбчатые кристаллы более длинные, крепко удерживаются в связке и могут обеспечить радиус округления ролика до $R = 0,03$ мм.

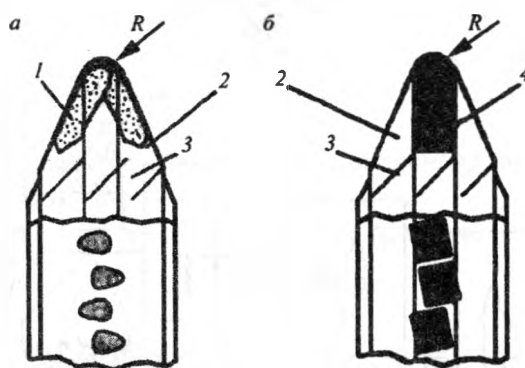


Рис. 3. Формующие ролики с расположением алмазов в виде «замка-молнии»: 1 – кристаллы естественных алмазов; 2 – связка; 3 – стальной корпус; 4 – столбчатые кристаллы искусственных алмазов [2, 3]

Обработка шлифованием конических зубчатых колес с криволинейными зубьями осуществляется циклически – формируются внутренняя и внешняя дуги профиля одного зуба, затем выполняется деление и процесс повторяется. Для шлифования используются чашечные шлифовальные круги, а для их правки выполняется система ЧПУ шлифовального станка. Это позволяет использовать универсальный правящий инструмент вне зависимости от размеров и геометрии зубчатого контура.

На практике используются два различных способа правки, отличающиеся взаимным расположением круга и правящего инструмента. В способе фирмы «Klingenberg» (рис. 4, а) оси круга и правящего инструмента параллельны. Условия правки не зависят от размеров шлифо-

вального круга, исключается возможность подрезания профиля, правка выполняется зоной округления R правящего ролика, но необходимо два взаимно противоположных направления его вращения. В способе фирмы «Gleason» (рис. 4, б) нет необходимости изменять направление вращения ролика, для правки используется более широкая область профиля ролика (вне радиуса R), процесс правки зависит от размеров круга и может сопровождаться подрезанием профиля круга.

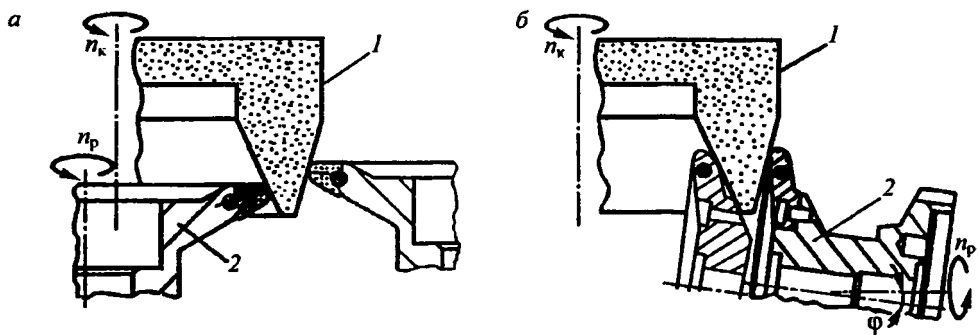


Рис. 4. Правка чашечных шлифовальных кругов:
а – методом фирмы «Klingenberg»; б – методом фирмы «Gleason» [5]

В серийном производстве зубчатых колес достаточно широко используется шлифование методом обкатки с помощью червячных шлифовальных кругов. Достоинствами данного метода являются высокая точность профиля зуба, возможность комплексной обработки всех поверхностей зуба, включая закругления ножки и головки, а также обработка модифицированных профилей.

На рис. 5 показаны возможные способы правки червячных шлифовальных кругов, различающиеся производительностью и эластичностью (легкостью переналадки). Каждый из представленных способов имеет как достоинства, так и недостатки.

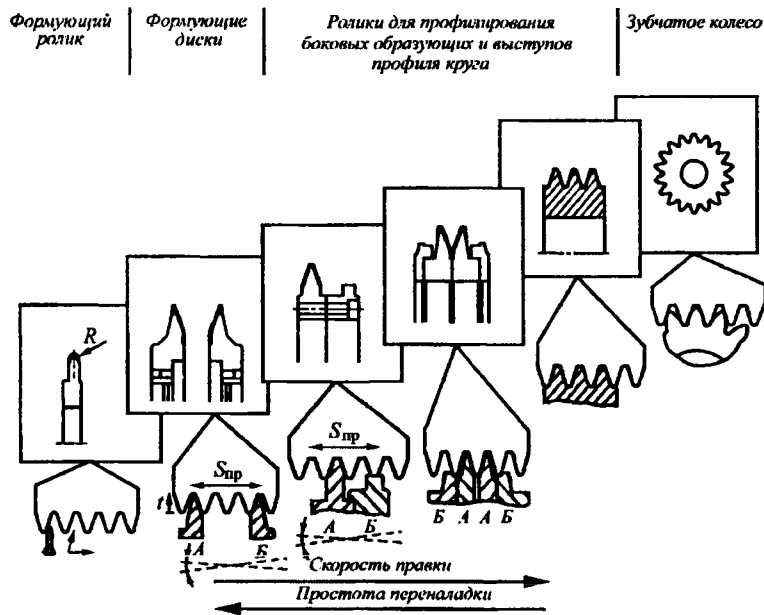


Рис. 5. Способы правки червячных шлифовальных кругов [2, 3]

Профиль червяка может формироваться также в ходе «строчного» перемещения правящего инструмента. Строка за строкой с помощью формирующего ролика с радиусом R и зоной правки 180° переносятся все модификации профиля. В результате перекрытия строк формируется профиль. Поскольку геометрия ролика не зависит от геометрии зуба, можно индивидуаль-

до дорабатывать любые модификации профиля, что важно в условиях мелкосерийного производства и в продукции прототипов.

Наиболее широко используется правка с помощью комплекта формующих дисков (шарошек). Данный способ характеризуется высокими производительностью и эластичностью.

Использование комплектов профилирующих роликов *A* и *B*, предложенное фирмой Liebherr», позволяет корректировать угол профиля и ширину зуба, используя дополнительную ось системы ЧПУ. При использовании данной схемы на шлифованной поверхности зубьев не остается сетка следов обработки.

Полнопрофильные правящие инструменты в виде зубчатого колеса, покрытого слоем алмазов, используется на зубошлифовальных автоматах или при суперфинишной обработке профиля.

Правка кругов для обработки мелко модульных зубчатых колес с модулем 0,3...0,8 мм требует использования малых радиусов округления на формующих роликах и шарошках. При обкаточном шлифовании мелко модульными червячными кругами возникает проблема прочности правящего инструмента, имеющего весьма малую ширину у основания зуба. Ширина головки профиля менее 0,3 мм может быть обеспечена при использовании двухконусных роликов с упорядоченным равномерным размещением столбиковых искусственных алмазов в связке (рис. 6). Алмазные зерна в этом случае работают так же, как зубья дисковой фрезы.

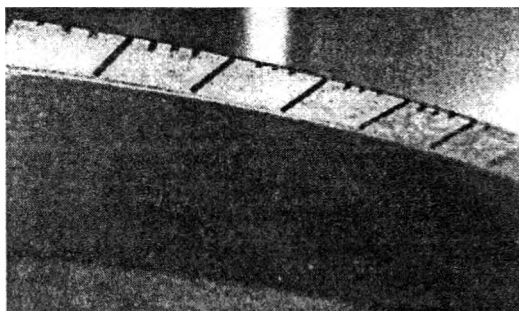


Рис. 6. Ролик для правки мелко модульных шлифовальных кругов (фирма «Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge»)

Эффективность правки шлифовальных кругов обусловлена правильным программированием процесса, учитывающего требуемую геометрию круга и сложность требуемого профиля. Правка может осуществляться двумя способами:

- в крупносерийном и массовом производстве – на основе применения роликов сложной формы, имеющих радиальную подачу (рис. 7, а);
- универсальный способ – на основе применения роликов, имеющих кромочный стык со шлифовальным кругом (рис. 7, б).

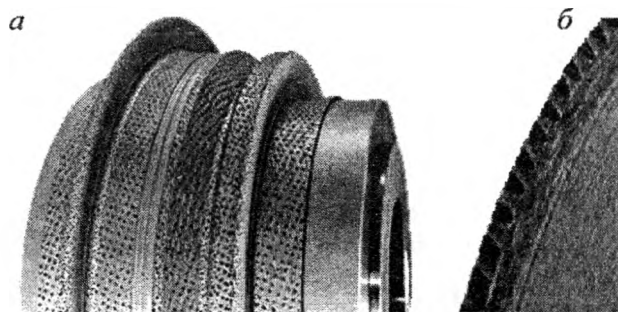


Рис. 7. Формы правящих алмазных роликов (фирма «Dr. Kaiser Diamantwerkzeuge»)

Во втором случае правящий инструмент имеет радиальную подачу при постепенном перемещении по траекториям, являющимся эквидистантами окончательного профиля. Требуемая геометрия круга формируется в результате удаления соответствующего слоя (припуска), не требуется информации об окончательной геометрии круга, правящий инструмент полностью

повторяет форму профиля. Это приводит на первых проходах к холостым перемещениям правящего инструмента – «правке воздуха».

В настоящее время предложен комбинированный способ профилирования: на первом этапе ролик приближенную форму профиля методом врезания; на втором этапе ролик перемещается по программе, окончательно формируя профиль (рис. 8).

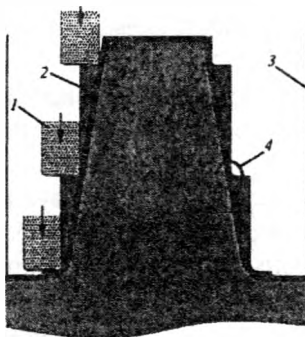


Рис. 8. Схема комбинированного способа профилирования [5]:
1 – правящий инструмент; 2 – остаточные выступы после правки врезанием;
3 – исходная поверхность круга; 4 – припуск на окончательное профилирование

Знание исходного и окончательного профилей шлифовального круга позволяет ликвидировать все неэффективные участки траектории правящего ролика типа «правки воздуха». Необходимые холостые ходы и позиционирование ролика осуществляется со скоростью быстрых перемещений, а сам профиль формируется сначала по упрощенным кривым, а в конце цикла правки – на базе эквидистант. Как следствие, имеется возможность оптимизации процесса правки с точки зрения минимально необходимого времени, либо с точки зрения минимального объема удаляемого в ходе правки материала. Такая ситуация возможна при условии некоторого перемещения окончательного профиля круга вдоль его оси.

Современные методы правки обеспечивают существенное повышение точности обработки фасонных поверхностей как на универсальных шлифовальных станках, так и на шлифовальных станках с ЧПУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А., Михайлов М.И. Режущий инструмент. Минск: Новое знание, 2007. – 399 с.
2. Lierse T. Abrichten von Schleifwerkzeugen für die Verzahnungsbearbeitung. Abrichten von Schleifwerkzeugen – Seite 1. Seminar: Feinbearbeitung von Stirnrädern in der Serie. 3 – 04 Dezember 2003, Aachen.
3. Lierse T., Kaiser M. Dressing of grinding wheels for gearwheels //Industrial diamond review. – 2002. – № 4. – P. 1 – 10.
4. Каталог 215615.00 «Winterthur Technology Group». Зубошлифование. 2007. – 178 с.
5. Oczóś K.E., Harbat W. Innowacje w obróbce ściernej. Część III. Obciąganie ściernic i programowanie szlifowania. – Mechanik. – 2009. – Nr 1. – S. 6 – 17.

УДК 621.791

Дечко Э.М., Зюзенок В.П., Heidebrecht P.

СОВРЕМЕННЫЕ СПОСОБЫ РЕЗКИ МЕТАЛЛОВ

Совершенствование способов, технологий резки материалов и разработка новых систем, установок для реализации этих способов обусловлено постоянно возрастающими требованиями к повышению производительности выполняемых работ, обеспечению точностных и качественных параметров деталей, стоимостные показатели и т.п. К качественным показателям резки относятся усредненная шероховатость, допуска по прямоугольности и наклону, точность размера.

образование заусенцев, образования окси. На все это, в свою очередь, влияют свойства самих материалов, их толщина, расходные материалы, тип производства, автоматизация процессов резки.

Известно, например по информации фирмы MESSER GRIESHEIM, что для резки конструкционных сталей возможно использовать автоген, плазму, лазер; для хромоникелевой стали – плазму, лазер; для цветных металлов - плазму и в ряде случаев - лазер. Приводятся границы точностей возможностей различных способов резки, рис.1.

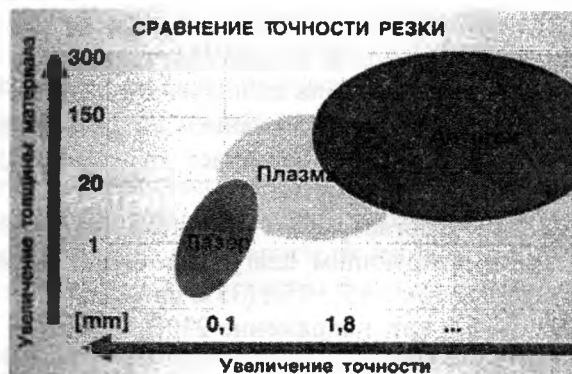


Рис. 1. Изменение точности обработки в зависимости от толщины материала для различных способов резки

Однако автоген, при низкой стоимости установок, рекомендуется использовать для резки материалов большой и средней толщины, скорость резки и точность обработки – низкие. Кроме того, требуется использовать значительное количество резаков.

Плазма имеет преимущества при резке материалов малой и средней толщины на очень высоких скоростях резки. Этот процесс обеспечивает средние и высокие требования к допускам деталей при средних затратах на установки.

Лазер имеет преимущества при резке материалов очень малой толщины, при высоких требованиях к точности. Скорости резки несколько меньше, чем при плазменной резке и требуются высокие затраты на установку.

Один из путей получения высокой точности и экономичности процессов резки тонколистового проката связан с использованием узкоструйной плазменной резки, рис.2.



Рис. 2. Область возможного использования узкоструйной плазмы

С использованием кислорода в качестве плазменного газа узкоструйная плазма производит резку с повышенной плотностью энергии (сопло $d = 0,4 \dots 0,7$ мм), со стабильной дугой за счет магнитного вращения в горелке. При этом обеспечивается сопла и электрода, минимальный расход энергии и газа, качественная поверхность реза (практически отсутствие деформаций и закала, небольшая шероховатость, отсутствие грат, небольшие отклонения по наклону и перпендикулярности боковой стороны реза). Использование ЧПУ обеспечивает хорошее качество обработки в режиме автоматизированной резки.

Новые возможности плазменной резки открываются при применении установок CUTMASTER серии TRUE, США. Усовершенствованные установки плазменно-дуговой резки CUTMASTER TRUE разрабатывались с идеей «РЕКОМЕНДУЕМАЯ толщина разрезаемого

металла – это та толщина металла, где выполняется КАЧЕСТВЕННАЯ – ЧИСТОВАЯ резка с высокой производительностью».

В настоящее время только плазменная система CUTMASTER серий TRUE компании Thermal Dynamics предлагает сопло на 60 А, позволяющее резать с опорой сопла на поверхность листа. Параметры систем: выходной ток – 30...120 (А при ПВ 80%; толщины разрезаемого металла – 10...40 мм, чистовой рез; 12...50 мм, максимальный срез; 16...55, разделительный рез. Масса установок 17,7...28,1 кг.

На повышение производительности, при высоком качестве резки без образования окалины, и снижение эксплуатационных расходов направлены технологии плазменной резки компании Hypertherm, США, которая запатентовала технологию резки HyFlow.

Вихревая технология (HyFlow) с использованием вихревого сопла стабилизирует положение дуги точно в центре электрода, что повышает качество резки и увеличивает срок службы расходных материалов.

DRUG-GUN PLUS, США - малогабаритная установка для ручной плазменной резки со встроенным компрессором, минимизирующим влагу в воздухе, подаваемом в плазматрон. Толщина резки 12 мм. Регулируемый ток – 15...35А (35% при 35А).

Потребляемая мощность – 8,3 кВт; напряжение 230В, 50/60 Гц. Вес – 34,5кг,(источник тока, плазматрон, кабель).

Портативный аппарат для ручной плазменной резки разработан также компанией Hypertherm. Он имеет встроенный компрессор, обеспечивает толщину резки до 6 мм, напряжение входное 120/230 В, 50/60Гц. Вес 20 кг.

Новые серии аппаратов плазменной резки рекомендуются для ремонта корпусов автомобилей, судов, различного транспорта; ремонта систем отопления, вентиляции; при прокладке труб и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. MESSER, Cutting & Welding. Cutting Systems. Динамичные мультипроцессорные установки лазерной резки для осуществления прямых и косых резов с максимальной рабочей поверхностью. 2002 – 2008г.г. 2. Решения для механизированной резки. Компания Hypertherm.США. 2007. 3/ Установки плазменной резки. Каталог компании THERMADYNE, США. 2008.

УДК 004.738.5(07)

Романюк Г.Э., Романюк С.И., Шелег В.А.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РУССКОГО И АНГЛИЙСКОГО ТЕКСТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗАКОНОВ ЗИПФА

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Джордж Кингсли Зипф (George Kingsley Zipf (1902-1950)) – известный профессор-лингвист Гарвардского университета – эмпирически на основании анализа произвольных англоязычных текстов заметил такую закономерность: слова с большим количеством букв встречаются в тексте реже коротких слов. Продолжая работы в этом направлении, Зипф пришел к выводу, что все тексты построены по единым правилам. Какой бы язык не использовался, кто бы ни писал текст – внутренняя структура текста остается неизменной.

В каждом языке есть слова, которые встречаются чаще, чем остальные. Проведя анализ любого текста, можно выделить группу наиболее значимых слов, т.е. слов, при помощи которых можно определить, к какой области относится текст и его основные термины. Суть открытия Зипфа состоит в том, что он эмпирически установил статистические закономерности распределения частоты слов. В то время, когда Зипф сформулировал подмеченные им закономерности распределения частоты слов, законами они не считались.

В последующие годы рядом ученых были проведены исследования, которые подтвердили и уточнили подмеченные зависимости. Их стали называть законами Зипфа.

Зипф вычислил величину, которую стали называть постоянной Зипфа [1], и установил, что она несколько отличается для текстов, написанных на разных языках, но среди текстов, написанных на одном языке, она остается неизменной.

Обработка текстов с применением законов Зипфа проводилась, как правило, в пределах одного языка. Поэтому представляет интерес анализ и сравнение одного и того же текста на разных языках. Был выбран отрывок из англоязычного технического текста «International Movement for the Ban of Manipulation of Human Nervous System by Technical Means», состоящий из 5941 слов. Этот отрывок был переведен на русский язык в соответствии с правилами перевода технических текстов и подвергнут такому же анализу, что и английский. Объем отрывка составил 5109 слова.

Для подсчета частоты встречаемости слов использовалась программа Wordstat, которая представляет результаты выполнения в виде текстового файла. В этом файле в порядке убывания частоты представлены все слова с указанием их частоты, соответствующие заданным критериям подсчета. С помощью данной программы были подсчитаны частоты слов, входящих в оба текста.

На основе этих результатов и проводился дальнейший анализ текстов: найдены зависимости количества слов в тексте от частоты их встречаемости в тексте, построены графики этих зависимостей отдельно для английского и русского вариантов текстов и совместный график, а также построены семантические сети для ключевых слов. Данные обрабатывались с помощью программы Excel, в которой были построены следующие графики, отражающие зависимость количества слов в тексте от частоты (рис. 1, рис. 2):

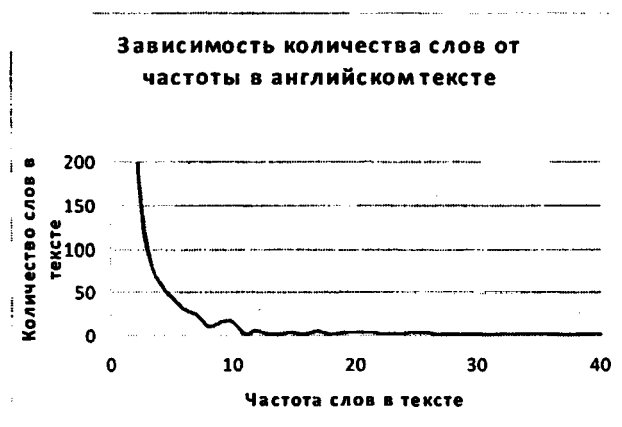


Рис. 1. Зависимость количества слов от частоты в английском тексте

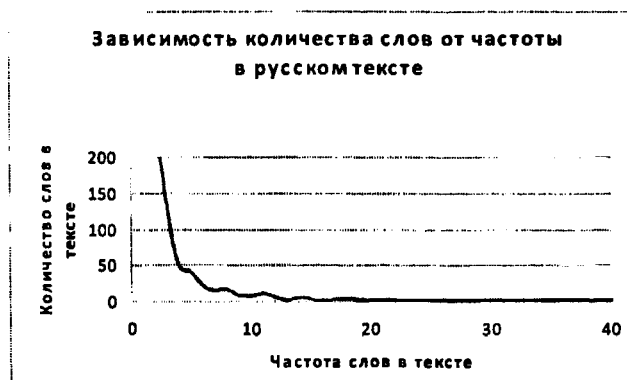


Рис. 2. Зависимость количества слов от частоты в русском тексте

При построении совместных графиков использовались только те значения частот, которые встречались и в английском, и в русском текстах (рис. 3).



Рис. 3. Совместные графики зависимости количества слов от частоты для английского и русского текстов

Кривые на графиках полностью подчиняются второму закону Зипфа [2].

Были построены семантические сети для одних и тех же ключевых слов из русского и английского текстов. Для построения семантических сетей были выбраны слова, которые наиболее часто встречаются в тексте. В качестве примера семантических сетей приведены семантические сети для слова “brain” из текста на английском языке (рис.4.) и соответствующего ему слова “мозг” из русского текста (рис 5.).

После построения сетей выявилась следующая закономерность: в первом и втором уровне наблюдались некоторые различия, но чем дальше от начала сети, тем больше совпадений в значениях слов. Это обусловлено тем, что одно и то же слово в английском языке может выступать и как существительное, и как прилагательное и даже как глагол, а в русском тексте большинство слов имеют по много различных значений и синонимов для одного слова из английского языка.

Рассмотренную технологию можно использовать при разработке поисковых систем для поиска в базе данных, содержащей англоязычные текстовые документы и соответствующие им русские переводы, для одновременного поиска одного и того же документа на русском и английском языке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романюк Г.Э. Применение законов Зипфа в Интернет-технологиях / Романюк Г.Э., Демидович О.Н., Климашевская О.Н. – Мінск: Весці БДПУ, 2008, №2. Серія 3. – с. 28-30.
2. <http://seochase.com/viewtopic.php?p=32125>

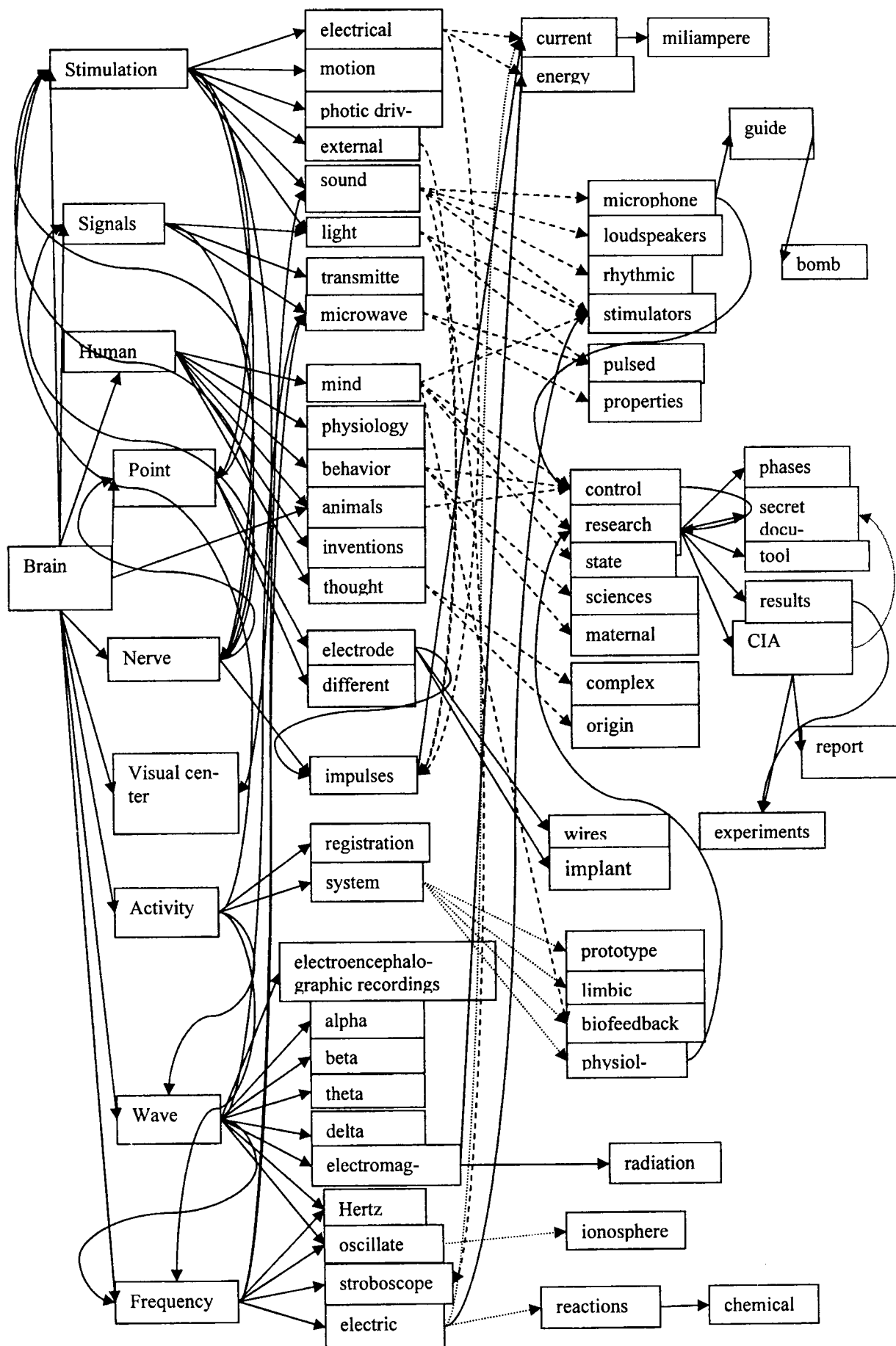


Рис. 4. Семантическая сеть для текста на английском языке

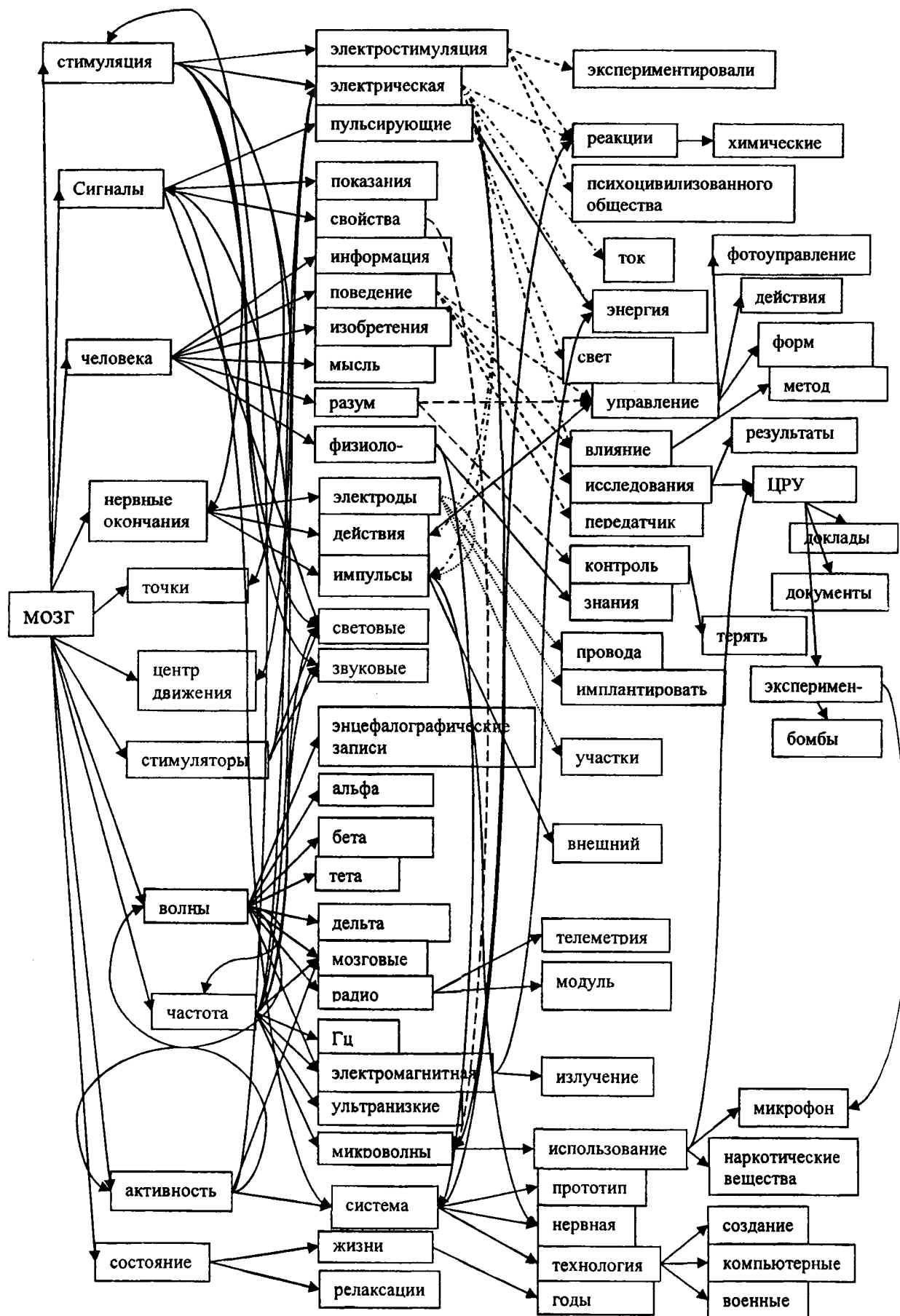


Рис.5. Семантическая сеть для текста на русском языке

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ И СЕНСОРНЫЕ СИСТЕМЫ В МАШИНОСТРОЕНИИ: НАНОМАТЕРИАЛЫ, НАНОТЕХНОЛОГИИ, НАНОСИСТЕМЫ

УДК 004.67

Колешико В.М., Гулай А.В., Полянкова Е.В., Гулай В.А.

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В СОЗДАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Технологии точного земледелия основаны на получении и использовании достоверной информации о плодородии почвы в каждой точке обрабатываемого сельскохозяйственного поля. Одно из направлений точного земледелия включает построение электронных почвенных карт и связанных с ними электронных карт планируемого урожая. Анализ электронных карт позволяет специалистам сельского хозяйства выбирать оптимальные параметры отдельных технологических процессов, а также определять всю стратегию аграрного производства. Другим направлением применения интеллектуальных сенсорных систем точного земледелия является создание автоматизированных технологических комплексов для выполнения адаптивных процессов аграрного производства. Цель применения таких комплексов состоит в контроле неравномерности качества почвы по всей площади обрабатываемого поля и учете результатов мониторинга при дифференцированном внесении питательных веществ в каждой точке поля.

Конструктивные решения интеллектуальных сенсорных систем для технологии точного земледелия

Достоверная информация о свойствах почвы может быть получена путем контроля ее цветовых характеристик, которые наиболее полно определяются спектрами отражения. С учетом этого разработан цветоцветовой метод контроля почвы в режиме реального времени по ее спектральной отражательной способности [1]. Сущность разработанного метода заключается в формировании информационного образа в виде сочетания оптических параметров почвы и определении на его основе характеристик качества, в частности, концентрации в почве органических веществ. Измерение параметров почвы в видимом диапазоне спектра производится с помощью набора светодиодов и фотоприемника, а также устройства обработки информации (рис. 1). Сигнал с выхода фотоприемника обрабатывается микропроцессорным устройством, формирующим сенсорный информационный образ почвы.

Разработанная мобильная сенсорная система для контроля почвы в технологии точного земледелия имеет следующие основные параметры. Объем измеряемого информационного образа почвы — 8 параметров (фиолетовый свет — 400 нм; синий — 470 нм; зеленый — 520 нм; желтый — 590 нм; оранжевый — 610 нм; красный — 630 нм; инфракрасное излучение; белый свет). Длительность формирования информационного образа почвы составляет 115 мс (8 информационных импульсов по 10 мс с временными промежутками между импульсами по 5 мс). Периодичность формирования информационных образов почвы равна 1 с, что при минимальной скорости транспортирования 2 км/час позволяет получить пространственное разрешение порядка 0,5 м.

Количество спектральных точек контроля n связано с масштабом неоднородности q отражательной способности почвы по оптическому диапазону следующим соотношением:

$$n \geq c\Delta\lambda/q, \quad (1)$$

где $s > 1$ — постоянная, $\Delta\lambda$ — ширина оптического диапазона. Учитывая, что величина q трудно поддается анализу и определению, разработана модификация сенсорной системы, в которой точки контроля не соотносятся с определенным цветом, а равномерно размещены вдоль спектрального диапазона. Для такого варианта сенсорной системы использованы светодиоды с длиной волны излучения 405; 460; 505; 530; 570; 620; 660 нм.

Конструктивно интеллектуальная сенсорная система выполнена в виде унифицированного модуля (А), который встраивается в заглубляемый в почву механизм сельскохозяйственной машины. С целью совмещения процедуры мониторинга почвы с проведением технологической операции сенсорный модуль используется в составе сельскохозяйственного агрегата (Б). Сенсорный контроль осуществляется также с помощью разработанной автономной мобильной системы в виде прицепного устройства (В) к мини-трактору. Кроме того, модификацией конструкции интеллектуальной сенсорной системы является малогабаритное устройство (Г) для небольших фермерских хозяйств. Интеллектуальная система оснащается аппаратурой спутниковой навигации (Д), что позволяет определять географические координаты точек контроля почвы и использовать результаты мониторинга для создания высокоточных электронных почвенных карт (Е).

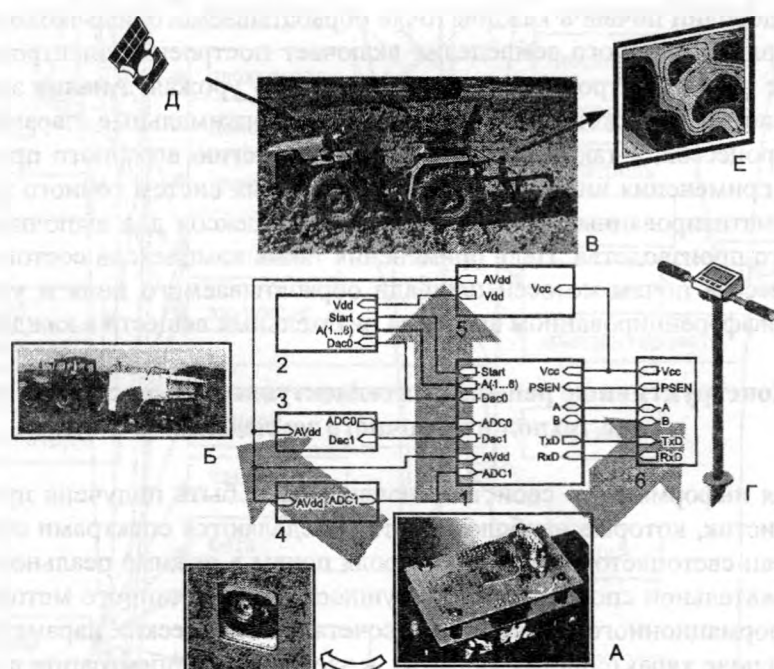


Рис. 1. Конструктивные решения интеллектуальной сенсорной системы для точного земледелия (А–Г) и ее функциональная схема: 1 — микроконтроллер управления и обработки информации; 2 — схема управления светодиодами; 3 — схема подключения фотоприемника; 4 — схема контроля температуры; 5 — источник вторичных напряжений; 6 — разъем COM-порта.

Методологические основы использования интеллектуальных сенсорных систем в точном земледелии

Совокупность разработанных способов и устройств интеллектуального сенсорного контроля качества почвы может быть использована на всех стадиях и этапах осуществления технологии точного земледелия (рис. 2). Так, важным этапом в точном земледелии является сбор и накопление пространственных данных — сочетание сенсорного контроля и лабораторного анализа образцов почвы, методов спутникового и авиационного зондирования земной поверхности, а также оценка распределения урожайности предыдущего сезона в пределах поля (А). Следующая стадия — анализ и интерпретация пространственной информации: разработка электронных картографических материалов по каждому полю, например, электронных карт контроля почвы, сопоставление их с данными о текущем состоянии посевов (Б). Результаты интеллектуального сенсорного контроля используются также на этапе создания моделей автоматического управления

мехатронными модулями сельскохозяйственных агрегатов для обработки почвы и растений (В). Эффективным в точном земледелии является этап интеллектуального управления агротехнологическими операциями на основе накопленной информации, например, дозированным внесением удобрений и средств защиты растений (Г).

Как комплексная оценка качества почвы, на основе которой строится модель будущего урожая, так и автоматическое управление процессами сельскохозяйственного производства требуют разработки и использования обобщенного параметра качества почвы [2]. Данный параметр включает текущее значение сведений о свойствах почвы, получаемых в режиме реального времени (On-the-Go), а также данные о результатах предшествующего урожая и экспертные оценки параметров, которые не могут быть получены непосредственно сенсорным контролем. В основе моделирования планируемого урожая лежит процедура «назначения» того или иного уровня обобщенного показателя в определенную точку сельскохозяйственного поля, базирующаяся на учете сенсорных данных о качестве почвы или растений и экспертных оценок результатов хозяйствования. Поскольку такое назначение является пороговой функцией нескольких переменных (детерминированных и стохастических), а также с учетом влияния различных факторов на эти переменные, для моделирования урожайности применяется математический аппарат логики нейронных сетей.

Система интеллектуального сенсорного определения указанного параметра основана на результатах обработки текущей информации, поступающей из подсистем всесторонней оценки качества почвы (сенсорных модулей) в каждой точке поля на различных этапах мониторинга, а также включает механизм анализа экспертных оценок, например, предыдущего урожая. Моделирование комплексного параметра (в частности, планируемого урожая) в определенной точке поля производится с помощью элементов нейронной логики. В схеме ячейки такой модели (Е) входами являются, например, $z_1 = H^n$; $z_2 = H^r$; $z_3 = V^n$; $z_4 = V^f$, где H^n — показатель качества почвы, установленный при предыдущем контроле; H^r — текущее значение этого же показателя; V^n — оценка урожайности в предшествующий период; V^f — фактический объем полученного урожая. Показателем качества почвы в данном случае может служить содержание органических веществ в почве, которое определяется с использованием разработанного светоцветового метода.

Ячейка предложенной модели состоит из трех пороговых элементов и реализует следующие функции:

$$y_{1,2} = 1 \text{ при } \eta^*_{1,2} \geq \eta_{1,2}, \quad y_{1,2} = 0 \text{ при } \eta^*_{1,2} < \eta_{1,2}; \quad (2)$$

$$x_{1,2} = y_{1,2}; \quad (3)$$

$$y = (x_1 - x_2) \geq \eta, \quad (4)$$

где $y_{1,2}$ — двоичная функция соответственно первого и второго порогового элемента; $\eta^*_1 = z_1\xi_1 + z_2\xi_2$, $\eta^*_2 = z_3\xi_3 + z_4\xi_4$ — средневзвешенные суммы, сравниваемые с пороговыми значениями соответственно η_1 , η_2 ; y — двоичная функция выхода формального нейрона; η — порог возбуждения формального нейрона; z_1 – z_4 — двоичные сигналы с блоков ввода данных; ξ_1 – ξ_4 — веса соответствующих сигналов. Возбуждение нейрона ($y = 1$) наступает, если определенное значение обобщенного параметра (x_1) назначается в данную точку поля и если при этом показатель качества почвы (x_2) в соответствующей точке достаточно высок, чтобы не препятствовать такому назначению.

Обобщенная модель оценки планируемого урожая, построенная на основе нейронной логики из представленных элементов, может включать ряд других сенсорных показателей качества почвы и растений, а также учитывать любые экспертные оценки ситуаций, оказывающих влияние на урожай. В общем виде процесс создания данной модели состоит из следующих уровней: эволюционного (сравнение с показателями предыдущего мониторинга); расчетного (модели процессов, происходящих в объекте); эмпирического (процессы, происходящие в реальном объекте). Обучение нейронной сети заключается в уточнении пороговых значений соответствующих элементов, обеспечивающих адекватность нейронной модели массиву информации о реальных величинах исследуемых характеристик почвы.

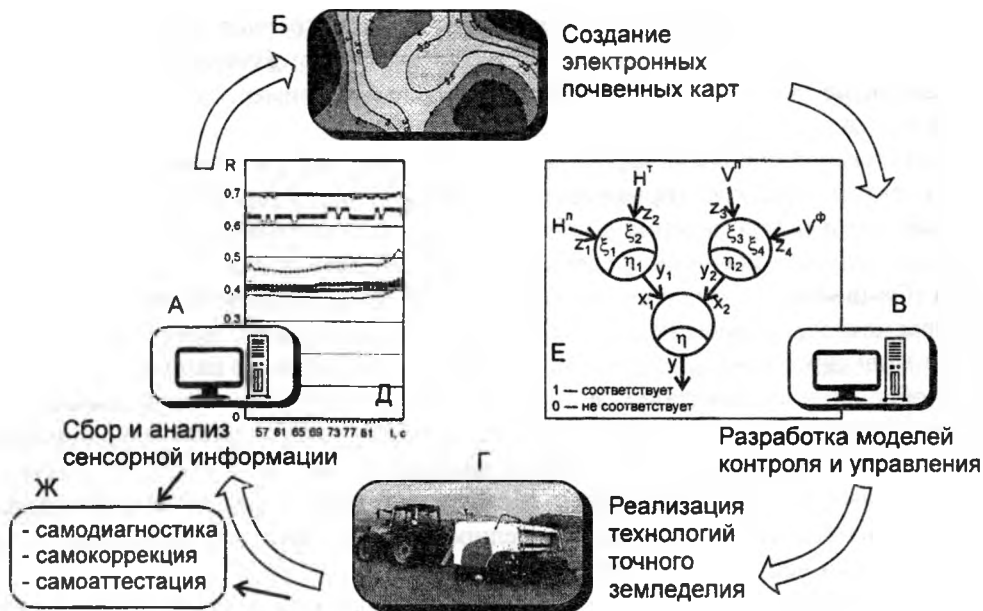


Рис. 2. Многоэтапное использование результатов интеллектуального сенсорного контроля почвы в точном земледелии (А-Г); фрагмент последовательности сенсорных данных при светоцветовом контроле почвы (Д); моделирование обобщенного параметра качества почвы (Е); реализация функций самообеспечения интеллектуальной сенсорной системы (Ж).

Кроме обработки сенсорной информации и управления сельскохозяйственными технологиями интеллектуальная система реализует функцию самообеспечения, которая включает самодиагностику, самокоррекцию и самоаттестацию. Самодиагностика: контроль исправности каждого светодиода - выход из строя светодиода и отсутствие сигнала на его выходе во время снятия данных фиксируется в байте состояния сенсорного модуля; получение данных по каждой спектральной линии с высоким коэффициентом вариации (выше установленного значения) также фиксируется в байте состояния системы. Самокоррекция: коррекция реакций контрольного и рабочего фотодиодов при проверке сенсорного модуля путем подстройки тока светодиодов по заранее (экспертным путем) установленным значениям; коррекция интенсивности излучения светодиодов во время работы модуля - изменение светового потока светодиода регулируется изменением тока, протекающего через светодиод, по предварительно полученным поверочным данным. При реализации функции самоаттестации учитываются результаты самодиагностики и самокоррекции системы; самая высокая достоверность результата измерений устанавливается при следующих условиях: полной исправности сенсорного модуля; оптимальной температуре окружающей среды; низких (определенных) коэффициентах вариации выходных данных; достоверность результата измерений снижается на заранее полученную экспертным путем величину: при больших значениях коэффициента вариации или при выходе из строя светодиода — на соответствующее этому факту значение; при понижении или повышении температуры окружающей среды, влияющей на стабильность работы электронных элементов сенсорного модуля.

Нейронные сети — базис создания интеллектуальных технологий точного земледелия

Нейронные сети (НС) служат основой интеллектуальной технологии обработки сенсорной информации и использования полученных данных для автоматического управления сельскохозяйственными процессами (рис. 3). Так, на уровне I с помощью нейронных сетей производится распознавание многопараметровых информационных образов, получаемых путем преобразования выходных данных сенсорных модулей (СМ). На уровне II за счет обобщения сведений о различных свойствах почвы формируется комплексный параметр для управления по его величине технологическим процессом обработки сельскохозяйственного поля. Нейронная сеть на

уровне III позволяет на основе определения динамики изменения обобщенного параметра прогнозировать его значение в той точке поля, которой достигает обрабатывающая машина к моменту готовности ее исполнительного механизма.

Одной из наиболее ответственных интеллектуальных операций в технологии мониторинга почвы является распознавание формируемых информационных сенсорных образов. В разработанной интеллектуальной технологии сенсорного контроля под распознаванием цветоцветового образа почвы понимается сопоставление по определенному правилу цвета почвенного образца, представленного полученным набором коэффициентов яркости для разных длин волн оптического излучения, с одним из эталонных образов из их фиксированного перечня [3]. Выполнены экспериментальные исследования процедуры распознавания сенсорных образов, которая характерна для созданного цветоцветового метода контроля почвы и лежит в основе функционирования нейронной сети на уровне I.

В качестве решающего правила выбора наиболее близкого эталонного образа используется наименьшая величина евклидова расстояния:

$$D(X_i, X_j) = \{\sum A_j (x_{ik} - x_{jk})^2\}^{1/2}, \tag{5}$$

где D — евклидово расстояние; A_j — весовые коэффициенты; x_i, x_j — соответственно значения коэффициентов яркости для эталона и исследуемого почвенного образца. Значения весовых коэффициентов в данном случае прямо пропорциональны величине коэффициентов яркости контролируемых почвенных образцов.

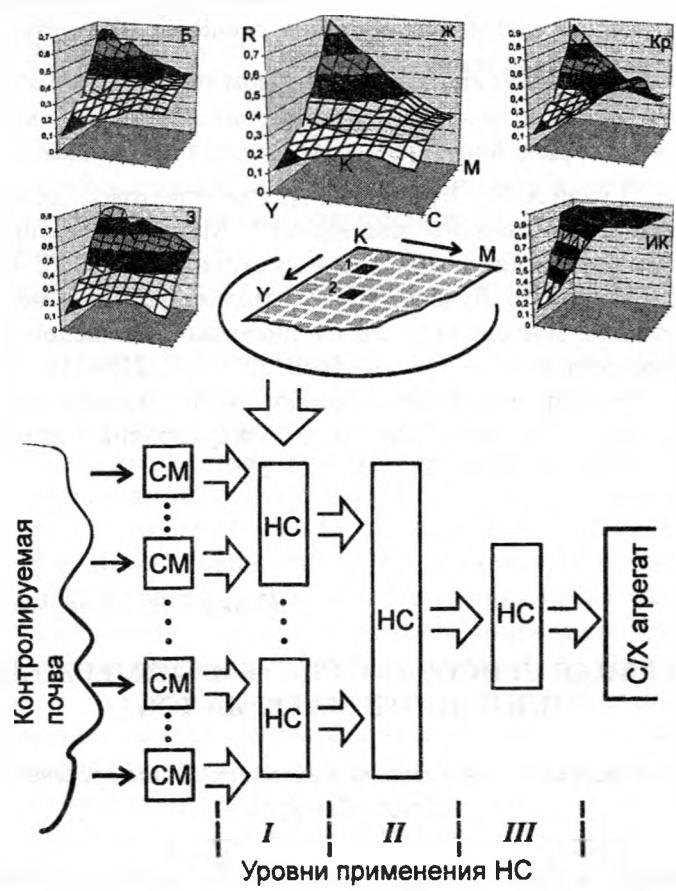


Рис. 3. Уровни применения нейронных сетей в машинном комплексе точного земледелия; зависимости коэффициентов отражения оптического излучения с разной длиной волны от цвета эталонной поверхности (А-Е): Ж — желтый свет; Кр — красный; З — зеленый; ИК — инфракрасное излучение; результаты идентификации почвенных образцов: 1, 2 — соответственно темно-серая и светло-серая почвы.

Для получения эталонных цветовых образов разработана палитра, состоящая из 10×10 цветовых ячеек, причем в угловых ячейках палитры представлены основные полиграфические цвета стандартной системы СМУК (С — cyan; М — magenta; Y — yellow; K — black). Остальные цветовые оттенки ячеек палитры представляют собой смесь основных цветов системы СМУК — с убыванием одного цвета и возрастанием другого цвета на 10% при переходе от одной ячейки к другой. Кроме этого получены линейки (по 10 ячеек) цветовых оттенков, наиболее близких к основным оттенкам почвенных образцов. Насыщенность цвета в каждой линейке равномерно уменьшается с постепенным переходом к белому цвету (уменьшение насыщенности цвета в каждой последующей ячейке составляет 10%). Данная система эталонных цветовых образов выбрана в связи с тем, что при необходимости точной идентификации цвета палитры и, соответственно, цветового оттенка почвы, имеется возможность воспользоваться системами именованных цветов, например Pantone (R).

С использованием разработанной палитры получали поверхности значений коэффициентов отражения для каждого цвета оптического излучения (рис. 3).

Путем сравнения системы коэффициентов отражения почвенных образцов и эталонных поверхностей с помощью выражения (2) определяли величину евклидова расстояния. По минимуму данного расстояния выбирали цветовую ячейку палитры, соответствующую оттенку исследуемой почвы. Например, цвету темно-серой почвы соответствует ячейка 1, расположенная во втором ряду от линии «КМ» и линии «КУ», а цвету светло-серой почвы — ячейка 2, которая находится в четвертом ряду от линии «КМ» и в третьем ряду от линии «КУ». Таким образом, по значениям коэффициентов отражения, получаемым с использованием разработанной сенсорной системы, определяется цвет исследуемой почвы. Это дает возможность идентификации почвы по набору эталонных почвенных образцов, сведения, о качестве которых содержатся в базе данных интеллектуальной системы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Светоцветовой метод эволюционной диагностики почв для технологии точного земледелия // Межведомственный сборник научно-методических статей «Теоретическая и прикладная механика» — 2006. — Вып. 20. — С. 198–208. 2. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Интеллектуальные мехатронные системы в машиностроении для точного земледелия // Республиканский межведомственный сборник научных трудов «Машиностроение» — 2007. — Вып. 22. — С. 215–219. 3. Колешко В. М., Гулай А. В., Лученок С. А. Формирование светоцветового информационного образа почвы в технологии точного земледелия // Научно-технический международный журнал «Теоретическая и прикладная механика» — 2007. — Вып. 22. — С. 279–286.

УДК 532.137

Сунка В.Я., Полюнкова Е.В., Колешко Л.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СЕНСОРНАЯ СИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ-ПЛОТНОСТИ МАТЕРИАЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Создание надежных, информативных, обладающих высокими метрологическими свойствами промышленных интеллектуальных сенсорных систем (ИСС) измерения динамической вязкости и плотности жидкостей возможно на основе вибрационных методов. Среди вибрационных измерительных зондов в виде тела правильной геометрической формы наибольшее распространение получили зонды с изгибными колебаниями. К хорошо известным требованиям повышения точности и надежности, ужесточения эксплуатационных режимов, уменьшения габаритов и повышения экономичности, добавляются, в соответствии с мировыми стандартами

серии IEEE 1451 требования по интерфейсу ИСС измерения как в составе автономной мини ЭВМ автоматического контроля и управления, так и при передаче информации по беспроводным каналам связи в соответствии с требованиями мировых стандартов IEEE 802.11- 802.16.

При изгибных колебаниях зонда вязкая среда оказывает его движению механическое комплексное сопротивление (импеданс) $Z_m = Re_z + i Im_z$. Активная составляющая импеданса Z_m обусловлена: излучением звуковой энергии в окружающую жидкость R_{a2} и потерями на вязкое трение R_{a1} в тонком пограничном слое. Реактивная составляющая импеданса Z_m также определяется двумя составляющими. Первая - R_{p1} обусловлена тем, что зонд перемещает с собой некоторый объем присоединенной массы M_0 вязкой жидкости. Величина R_{p1} пропорциональна частоте колебаний зонда и величине M_0 , а от вязкости жидкости не зависит. Вторая составляющая R_{p2} обусловлена перемещением массы вязкой жидкости пограничного слоя. Теоретически пограничный слой жидкости оказывает колеблющемуся зонду активное R_{a1} и реактивное R_{p2} сопротивления, равные по величине и пропорциональные значению $(\eta \cdot \rho_{ж} \cdot \omega)^{0,5}$, где η , $\rho_{ж}$, и ω - динамическая вязкость, плотность контролируемой жидкости и частота изгибных колебаний измерительного зонда. Таким образом, независимо от конструкции измерительного зонда функцией вязкости всегда выступает активное или реактивное сопротивление импеданса пограничного слоя жидкости, которые необходимо измерять известными методами.

При колебаниях измерительного зонда в воздухе он характеризуется собственной резонансной частотой ω_0 и механической добротностью Q_m , определяемой внутренними активными потерями. При погружении вибрационного зонда в вязкую жидкость его исходные параметры изменяются. Присоединенная масса всегда понижает резонансную частоту зонда (контроль плотности), а вязкое трение вносит дополнительные активные потери. Для измерительных зондов потери на вязкое трение в жидкости сравнимы с внутренними активными потерями вибрационных зондов или же во много раз могут превышать их при измерении очень вязких жидкостей ($\eta \gg (0,1 \div 10)$ Па·с). Определение вязкости ведется по активной составляющей импеданса Z_m среды - контроль амплитуды механических колебаний, декремента затухания или фазового соотношения между возбуждающей силой и скоростью колебаний зонда.

Для уменьшения влияния сдвиговой упругости жидкости и учета ряда практических соображений использование низко(инфра) частотных вибрационных зондов (10-200 Гц) чрезвычайно важно для повышении точности измерений и расширения диапазона контролируемых сред.

Для жидкостей с динамической вязкостью $\eta \leq (5 \div 25)$ Па·с целесообразнее использовать автоколебательный (амплитудный) метод измерения вязкости жидкостей, как наиболее простой, легко поддающийся автоматизации и обеспечивающий наивысшую теоретически возможную чувствительность измерительного зонда изгибных колебаний по вязкости. Измеряют максимальную (резонансную) амплитуду механических колебаний приемного преобразователя вибрационного зонда - цилиндрического стержня, камертона. Основные недостатки автоколебательных вискозиметров: неравномерность (до 2-3 порядков) чувствительности по измеряемому диапазону вязкостей, нелинейная и обратная зависимость показаний [1,2]. Для исключения недостатков автоколебательного метода предложен компенсационный автоколебательный метод и изготовлены образцы вибрационных вискозиметров [3-5]. Суть компенсационного метода измерения состоит в том, что амплитуда механических колебаний измерительного зонда поддерживается постоянной за счет соответствующего изменения величины возбуждающей силы (электрической мощности, тока) возбуждающего преобразователя зонда. Величина возбуждающей силы преобразователя зонда является мерой вязкости контролируемой жидкости, при этом зависимость между этими параметрами прямая и практически линейная.

На рис. 1 приведены некоторые параметры вибрационных зондов, совершающих изгибные колебания и используемых в вискозиметрах [4-5]. Частоту резонанса f и коэффициент демпфирования D_m зонда (круглый стержень) рассчитывают по выражениям

$$f = \frac{1}{2\pi} (3,534/l^2) \sqrt{\frac{Er^4\pi}{4m_0}}, \quad (1)$$

$$D_n = \frac{\sqrt{\eta \rho_*}}{r \rho_* \sqrt{2\omega_0}} \quad (2)$$

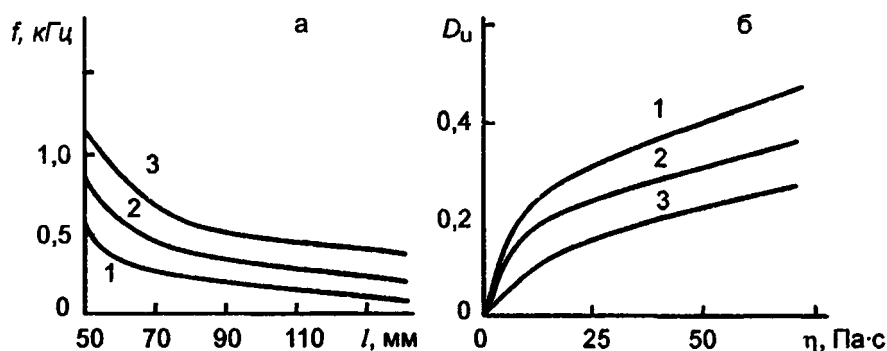
где l , r , ρ_* , E и m_0 – длина, радиус, плотность, модуль Юнга и масса единичной длины зонда.

Частота колебаний зонда выбиралась в пределах (100-200) Гц (рис. 1,а). Для контролируемой жидкости с $\rho_* = 880 \text{ кг/м}^3$ величина безразмерного коэффициента демпфирования D_n для зонда с $r = 2-4 \text{ мм}$ при увеличении вязкости от 10^{-3} до $50 \text{ Па}\cdot\text{с}$ увеличивается от нулевого до значений $D_n = 0,3-0,4$. При этом, чем меньше радиус зонда тем больше чувствительность (выше значение D_n) (рис. 1,б).

Чувствительность вибрационного вискозиметра к величине вязкого демпфирования зонда контролируемой жидкостью для автоколебательного и компенсационного методов имеет единое выражение

$$C_{A,F} = dA/dD = dF/dD = (\chi + D + \chi D)^2 \quad (3)$$

где F – возбуждающая сила; A – амплитуда механических колебаний зонда, нормированная по предельной амплитуде механических колебаний при частоте, стремящейся к нулю; $\chi = 1/Q_m$ – тангенс угла механических потерь упругого подвеса мембраны вибрационного зонда, Q_m – механическая добротность. Для качественных зондов величина $\chi = 10^{-2} - 10^{-5}$. Из выражения (3) очевидна обратная зависимость чувствительности $C_{A,F}$ от величин механических потерь χ и коэффициента демпфирования D_n .



где 1,2,3 – $r = 2$; 3 и 4 мм

Рис. 1. Зависимость резонансной частоты f (а) и коэффициента демпфирования D_n (б)

При конструировании вибрационных вискозиметров материал для измерительного зонда должен обладать малыми несовершенствами упругости, высокой релаксационной стойкостью, стабильностью упругих свойств во времени и в переменных внешних условиях, необходимой коррозионной стойкостью при работе с агрессивными средами. В качестве материалов для вибросистотных зондов используют стали и сплавы. Для образцовых и 1-го класса ИСС измерения вязкости и плотности при работе в агрессивных средах и повышенной температуре для изготовления вибрационных зондов используют элинварный сплав 44НХТЮ – ферритмагнитной сплав с железохромоникелевой основой с добавками титана и алюминия. Для высокого класса ИСС вибровискозиметрии при измерении неагрессивных жидких сред и при небольшом температурном диапазоне окружающей среды для изготовления вибрационных зондов хорошо использовать хромокремниймарганцевистую сталь 35ХГСА. Для ИСС измерения вязкости общего назначения вибросистотные зонды можно изготавливать из сталей 35ХГС, 50ХГА, 50ХФА, а также из сталей 20Х13 и 40Х13.

Данная ИСС использовалась в составе агрегата приготовления вязких гомогенных и гетерогенных (смесь вязкой несущей жидкости с твердыми частицами, находящимися во взвешенном состоянии) для измерения вязкости и плотности рабочих жидкостей при проведении технологического процесса глубоко проникающего гидроразрыва нефтегазовых пластов для

повышения дебета скважин. Конструктивно рассматриваемая ИСС измерения вязкости-плотности состоит из вибрационного измерительного зонда и электронного блока (рис. 2).

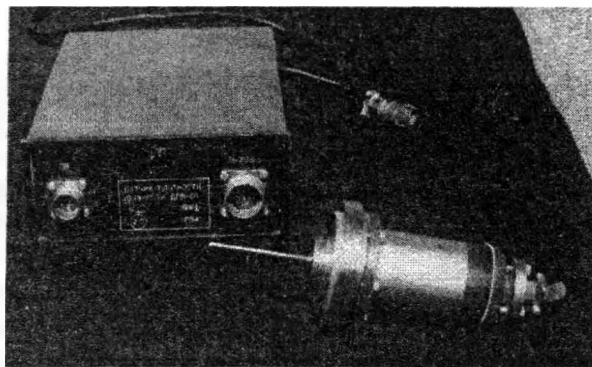


Рис. 2. Внешний вид вибрационной ИСС измерения вязкости-плотности

Зонд выполнен в виде двух полуволновых круглых стальных цилиндров и механически закреплен в узловой плоскости изгибных колебаний. Рабочий конец зонда опускается в контролируемую жидкость, а на другом его конце в непосредственной близости к нему расположены 4-е электромагнитных системы (катушки). В целом вибрационный зонд представляет собой высокочастотную ($Q_m \geq 200$) электромеханическую систему, состоящую из двух поляризованных электромагнитных звеньев-преобразователей: возбуждающего и приемного, расположенных вблизи свободного конца зонда. В межплоскостном пространстве электромагнитных катушек преобразователей помещена магнитомягкая стержневая вставка (зонд). Поляризованные электромагнитные системы вибратора (зонда) состоят из Ш-образного магнитопровода из магнитомягкого материала и постоянного магнита, выполненного из спецсплава. Постоянный магнит впрессован в магнитопровод и установлен внутри каркаса катушки. Каждая поляризованная электромагнитная система состоит из двух последовательно включенных индуктивностей с магнитопроводами, установленными разноименными полюсами встречно.

Один из преобразователей служит для возбуждения зонда, а другой – используется для измерения амплитуды механических колебаний рабочего конца зонда. Измерение вязкости компенсационным методом ведут по величине возбуждающей силы при постоянной величине амплитуды механических колебаний, а измерение плотности – по величине резонансной частоты нагруженного жидкостью вибронда.

Разработанная ИСС (рис. 2) с микроконтроллерами на выходе [4,5], представлена на рисунке 2. На рисунке 3 приведена функциональная схема ИСС, выполненной на основе предложенного компенсационного автоколебательного метода. В измерительной емкости (резервуар или трубопровод) контролируемой вязкостью помещается вибрационный зонд 1. Возбуждающий 2 и приемный 3 преобразователи зонда включены к входу и выходу синхрокольца усилительного тракта схемы самовозбуждения электронного блока и являются элементами механической обратной связи колебательных звеньев зонда. Кольцо самовозбуждения, кроме усилителей, содержит фазовращатель 4, обеспечивающий баланс фаз, при котором автоматически устанавливается резонансная частота автоколебаний зонда 1. Усилитель-ограничитель 5 исключает нестабильность кольцевого усиления электронного тракта на выходные показания вискозиметра. Полосовой фильтр 6 выделяет первую гармонику напряжения возбуждения усилителя-ограничителя 5 и подает его на вход согласующего усилителя 7, что и обеспечивает чисто гармонические (синусоидальные) колебания возбуждающего преобразователя 2 измерительного зонда 1.

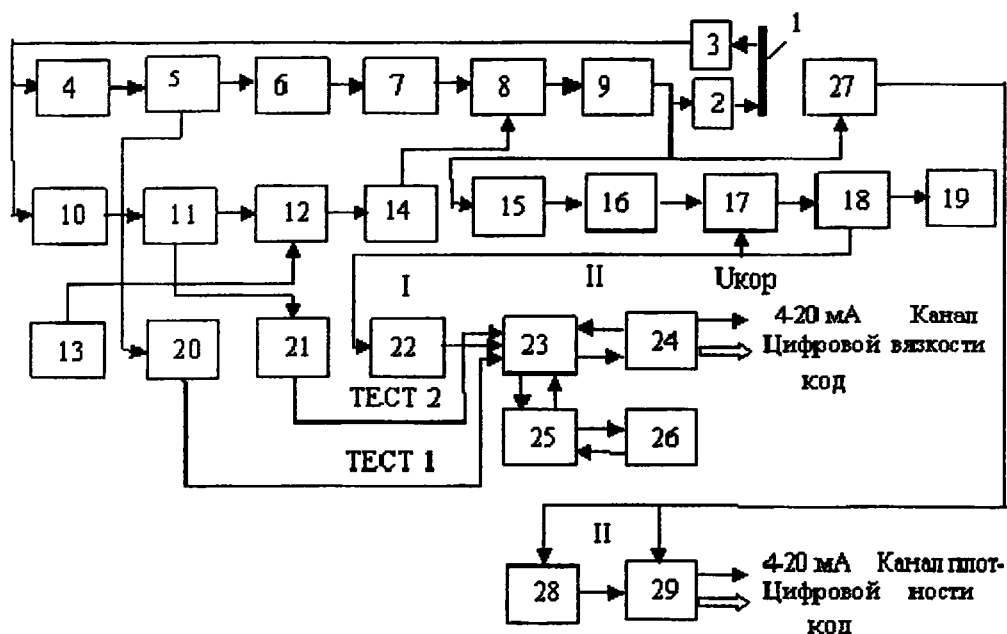


Рис. 3. Функциональная схема ИСС измерения плотности-вязкости

Для регулирования величины возбуждающей силы (электрической мощности, силы тока), подаваемой на обмотку возбуждения 2 зонда, служит управляемый аттенюатор 8, регулирующий амплитуду входного напряжения усилителя мощности 9. Аттенюатор 8 имеет регулируемый коэффициент усиления, величина которого изменяется в широких пределах при помощи сборки полевых транзисторов. Для изменения тока возбуждения обмотки 2, переменное напряжение с выхода приемной электромагнитной обмотки преобразователя 3 зонда 1 усиливается в блоке 10, затем детектируется в блоке 11 в постоянное напряжение, которое и подается на один из входов сравнивающего устройства 12, на второй вход которого подается постоянное напряжение от эталонного источника напряжения 13. С выхода усилителя-ограничителя 14 постоянное управляющее напряжение подается на вход аттенюатора 8 для изменения напряжения усилителя мощности 9. Выходное напряжение усилителя мощности 9 изменяется до тех пор, пока амплитуда колебаний зонда 1 не достигнет заданного исходного уровня, обусловленного величиной измеряемой вязкости.

Для отсчета информации о вязкости контролируемой жидкости электрическое напряжение с выхода усилителя мощности 9 через согласующий усилитель 15 детектируется в блоке 16 в постоянное напряжение и подается на один из входов сумматора 17, на второй вход которого подается напряжение Укор для корректировки на нулевое значение выхода вискозиметра при работе зонда в воздухе. Напряжение от сумматора 17 подается на схему линеаризации 18, выходное напряжение которой используется как для визуального наблюдения на индикаторе 19.

Связь ИСС вязкости и плотности с мини ЭВМ организуется через 12-и разрядный интерфейс. Для канала вязкости аналоговая информация со схемы 18 в виде выходного унифицированного тока (4-20) мА подается на вход интерфейса, состоящего из модуля преобразования I и модуля измерения и обработки II. В модуле I входное напряжение преобразуется интегрирующим АЦП (преобразователь напряжение – частота КР1108ПП) 22 в частоту $f = (2,5-12,5)$ кГц. Модуль II включает микроконтроллер 23 (КР 1835ВГ14), буферный регистр 25 (КР588ИР), постоянное перепрограммируемое запоминающее устройство (ППЗУ) 26 (КС573РФ2) и 4-х канальный блок 24 выхода интерфейса со входом мини ЭВМ.

Для измерения плотности жидкости выходное напряжение усилителя мощности 9 ($f=100-200$ Гц) подается в блок 27 формирования временной длительности полупериода частоты возбуждающего преобразователя 2 измерительного зонда. Затем прямоугольные импульсы с

выхода блока 27 подаются в модуль измерения и обработки информации о плотности 29, аналогичный блоку II в канале измерения вязкости. Для получения унифицированного тока (4-20) мА, пропорционального плотности контролируемой жидкости, используют интегрирующий преобразователь длительность импульса - ток (напряжение) 28.

Для повышения надежности обрабатываемой и передаваемой информации вводятся элементы самотестирования, а также 4-х каналные (информационные и синхронизирующие) цифровые выходы, при этом согласователи 24 выполнены на развязывающих оптопарах. В ППЗУ 26 записываются программы для работы интерфейсов отдельно по каналам плотности и вязкости. Программа обеспечивает прием импульсов, измерение частоты АЦП, ее усреднение по пяти точкам и преобразование этой частоты в 8-ми разрядный ток. Для самотестирования формируются две посылки в 1-й и 2-й разряды информационного слова о нахождении величины измеряемой вязкости или плотности в заданном диапазоне измерения. При правильной работе канала приемного преобразователя 2 зонда 1 напряжение усилителя 5 детектируется в схеме 20 и в виде посылки ТЕСТ 1 подается на вход микроконтроллера. При правильной работе канала возбуждения зонда 1 постоянное напряжение с выхода блока 11 через детектор уровней 21 в виде посылки ТЕСТ 2 также подается на вход микроконтроллера 23. Тестовые сигналы ТЕСТ 1 и ТЕСТ 2 затем формируются в информационном слове в 0-м и 3-ем разрядах цифровых выходных кодов отдельно по каналу вязкости и каналу плотности.

Зная исходные величины η и $\rho_{ж}$ гомогенной вязкой среды при непрерывном введении в ее состав твердых сыпучих примесей сферической формы диаметром частиц (0,8÷1,2) мм измеряют величины плотности и приведенной динамической вязкости ($\eta_{с} \cdot \rho_{жс}$) 0,5 гетерогенной смеси. По приведенной вязкости находят реальную динамическую вязкость $\eta_{с}$ смеси делением ее на численное значение плотности. Определение концентрации добавок и плотности смеси ведут на основании поправок Эйнштейна [6].

Все управляющие и вычислительные операции по измерительному процессу, вычислительные операции по определению концентрации добавок, плотности и вязкости, а также формирование управляющих и унифицированных аналоговых (ток 4÷20 мА) и цифровых (N – разрядных) кодов отдельно по каналам вязкости и плотности ведутся с помощью двух встроенных микроконтроллерных интерфейсов. Такие интеллектуальные ИСС по определению относят к микросистемной технике.

На рисунках 4 и 5 в качестве примера приведены экспериментальные зависимости величин вязкостей полиэмульсии ПЭГН-1 и углеводородного геля НГА 37/44 и плотности применительно к рабочим жидкостям (смесь углеводородного геля с пропантом) гидроразрыва нефтяных пластов.

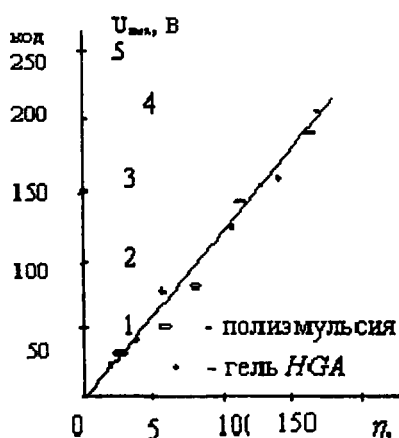


Рис. 4. Зависимость вязкости исходной фазы песка (пропанто) несущей рабочей смеси для гидроразрыва

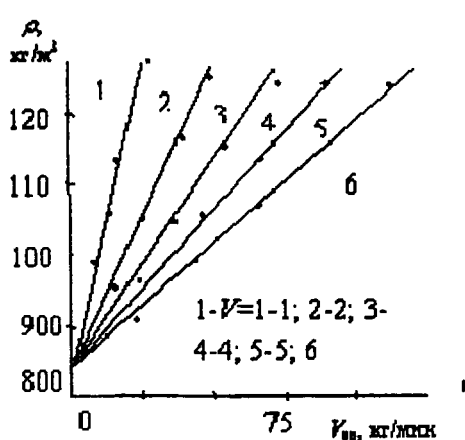


Рис. 5. Зависимость плотности жидкости кости гидроразрыва от скорости ввода пропанта $V_{пр}$ при различных объемах закачки в скважину

Лучшие отечественные и зарубежные образцы автоколебательных (амплитудных) вибрационных вискозиметров на изгибных колебаниях стержней или камертонов имеют погрешность $0,3 \div 1,0$ % [3-5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Крутин В.Н. Колебательные вискозиметры и пути их совершенствования//Сборник научных трудов. Под ред. Чл. корр. АН СССР С.С. Кутателадзе.- Новосибирск: 1976. - С. 8-28.
2. Крутин В.Н., Смирницкий И.Б. К методике расчета колебательных крутильных вискозиметров с сосредоточенными параметрами // Зав. лаборатория. 1975.- № 4. - С.461-466.
3. Дзюба А.П., Крутин В.Н., Ушаков Л.А. и др. Разработка вибрационного вискозиметра общепромышленного назначения и опыт его внедрения//Сборник научных трудов. Под ред. Чл. корр. АН СССР С.С. Кутателадзе.- Новосибирск: 1976. - С. 78-87.
4. Колешко В.М., Сунка В.Я. Электронный прибор для измерения плотности-вязкости нефтепродуктов-//Серия Материалы, технология, инструменты. 1997. - №1. - С. 96-99.
5. Колешко В.М., Сунка В.Я. Реанимация нефтегазовых скважин.- Мн.: 1996.- 60 с.
6. Лойцянский А.Г. Механика жидкости и газа. - М.: Наука. 1987.

УДК 612.821.8:331.46

Колешко В.М., Воробей Е.А., Азизов П.М., Худницкий А.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА С АНАЛИЗОМ МОЗГОВЫХ ВОЛН НА ПРОИЗВОДСТВЕ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Разработка интеллектуальных систем управления объектом на основе синхронной активности нейронов приобретает в настоящее время существенную значимость в биоинформатике, здравоохранении, экологической, промышленной, индивидуальной и национальной безопасности, где развитие нейрокompьютерных технологий открывает широкие практические возможности применения для:

- улучшения и обеспечения безопасности жизни, как здоровых людей, так и тех, кто лишен способности нормального существования;
- осуществления чтения мыслей у чиновников-коррупционеров;
- способствования в комбинации с методами чтения мыслей у согласных на это людей (магистров, аспирантов, докторантов, профессоров) лучшему пониманию функций и тайн мозга человека;
- обеспечения связи с людьми, уворованных террористами, погребенными под руинами после взрывов, землетрясений и других чрезвычайных ситуаций;
- предотвращения незаметной передачи информации охраняемому объекту;
- интеллектуальной поддержки чиновников власти на их публичных выступлениях и пресс-конференциях;
- упорядоченного поведения массы людей при чрезвычайных ситуациях, например, посылая предупреждения о надвигающихся катастрофах;
- профилактики и лечения некоторых патологических недостатков в головном мозге и снятия стрессовых ситуаций;
- интеллектуального управления бытовой и специальной техникой, а также множество различных применений благодаря творчеству умных людей.

Однако основные проблемы при реализации подобных систем связаны прежде всего с эффективной обработкой данных, например, электроэнцефалограммы (ЭЭГ) головного мозга, которая активно применяется в мозговом компьютерном интерфейсе, а также в создании интеллектуальных оптимизированных методов их классификации для достижения высокой точ-

ности распознавания. На сегодняшний день нет достаточно достоверных методов извлечения информативных признаков вызванных мозговых потенциалов и математических приемов их распознавания, поэтому нами была разработана интеллектуальная программа “НЕЙРО-ДФС”, которая применяет комплексные гибкие алгоритмы анализа для выделения скрытой функциональности мыслительных процессов, например, при воображаемом управлении курсором “мыши” на дисплее компьютера (рис. 1).



Рис. 1. Интеллектуальная нейрокомпьютерная система управления курсором “мыши”

На первом этапе обработки исходных данных мозговой активности, как показано на рис. 2 а, б для случая функциональных состояний мозга в канале ЭЭГ С4 (фронтальный), были устранены тренды нулевого порядка (вычитание среднего значения из каждого канала ЭЭГ), что позволило привести данные к удобному единому пространству измерения мыслительных процессов для эффективности распознавания (рис. 2 в, г). Чтобы обеспечить высокую скорость обработки, было выполнено нормирование данных каналов ЭЭГ с приведением показателей к нулевому математическому ожиданию и единичному стандартному отклонению (рис. 2 д, е). Для успешной классификации данных ЭЭГ большое значение играет не количество выделенных каналов регистрации, а качество их взаимодействия, которое фактически определяется независимостью или декорреляцией каналов между собой. В этом случае происходит проектирование каждого канала-признака на плоскость, составленную из оставшихся признаков, так что образуется ортонормированное пространство данных, которое является пригодным для дальнейшей обработки и обнаружения функциональности работы мозга. Поэтому декорреляция позволяет исключить взаимодействие каналов ЭЭГ, выделить существенные неявные информативные характеристики с учетом взаимного влияния каждого признака (рис. 2 ж, з).

Поскольку математическая модель формирования сигнала ЭЭГ не известна, то были применены непараметрические методы расчета спектральной плотности мощности ЭЭГ, которые используют только информацию, заключенную в отсчетах сигнала, как, например, метод Томсона, основанный на использовании вытянутых сфероидальных функций, обеспечивающих максимальную концентрацию энергии в заданной полосе частот [8]. Таким образом, в результате декорреляции каналов ЭЭГ в частотной области сигналов были выделены явно присутствующие компоненты артефакта 50 Гц и его первая гармоника 100 Гц, которые вызваны частотой переменного тока в сети, а также признаки мозговой активности от сенсорного восприятия, например, зрения на частотах 10-12 Гц (рис. 2 и, к).

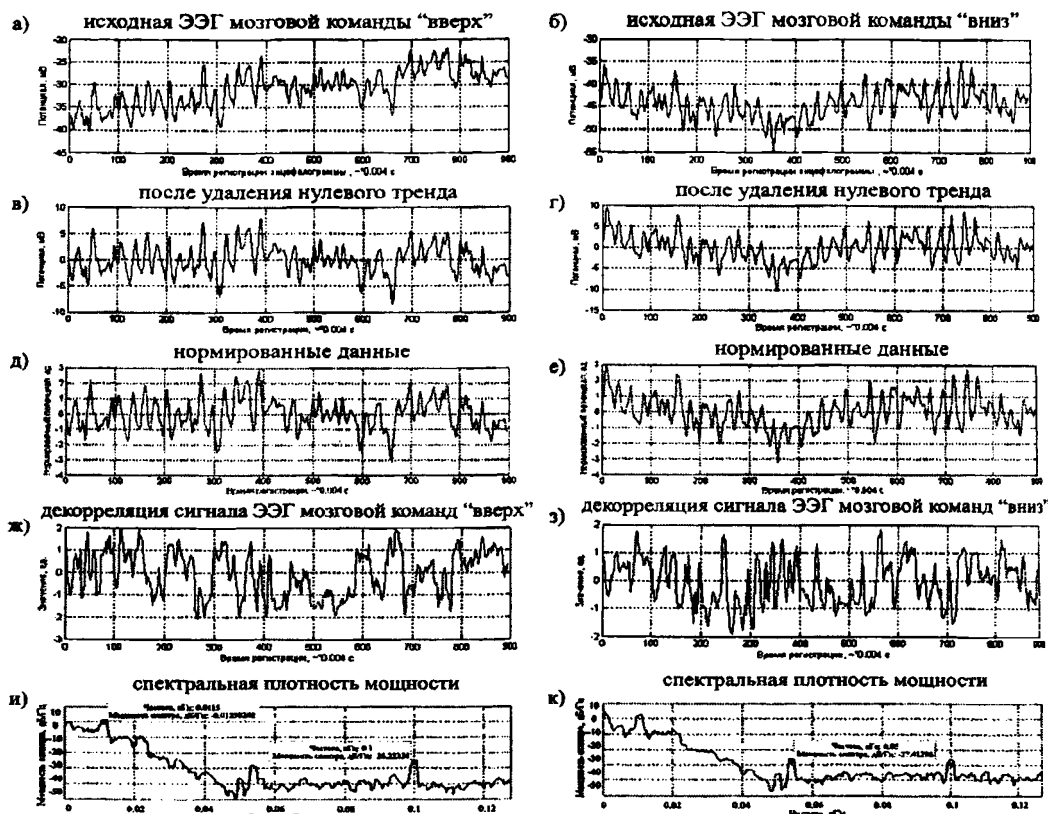


Рис. 2. Обработка данных мозговой активности в канале ЭЭГ C4 с обнаружением артефактов и сенсорных влияний

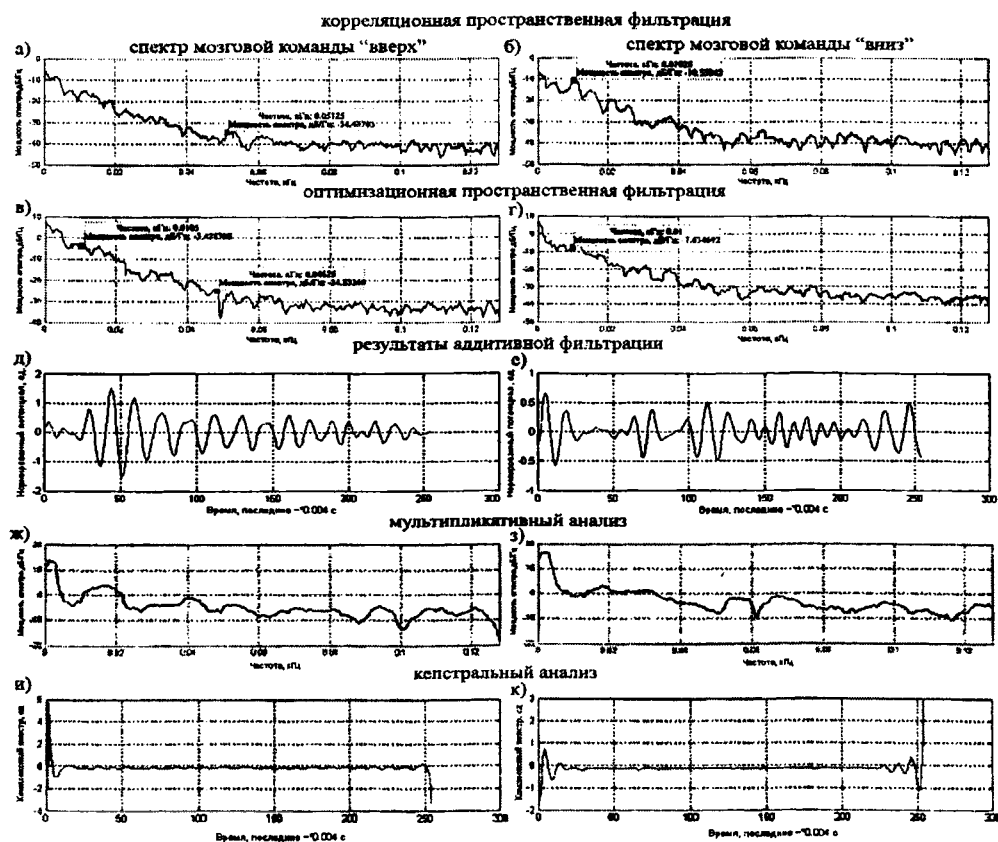


Рис. 3. Подавление артефактов, сенсорных влияний и анализ синхронной активности нейронов мозга

Для полного подавления артефактов и влияния сенсорных систем организма в целях проявления мозговой активности “высшего порядка”, были применены методы пространственной фильтрации данных ЭЭГ (рис. 3).

При использовании корреляционного метода пространственной фильтрации, который позволяет устранить суммарный сигнал от артефактов и сенсорных систем организма человека, подавляемые частотные компоненты по-прежнему присутствуют, но в меньшей силе (рис. 3 а, б). Чтобы устранить влияние электрических и сенсорных частотных компонент, был разработан оптимизационный метод пространственной фильтрации, который заключался в поиске оптимальной матрицы вычитания из каналов ЭЭГ посредством нахождения коэффициента минимума функции одной переменной для фиксированного частотного интервала. Оказалось, что электрические наводки (50 Гц) и визуальный потенциал (10-12 Гц) были полностью устранены (рис. 3 в, г). Исключение аддитивных шумов проводилось с использованием полосового фильтра с диапазоном пропускания 14-30 Гц, выбранным на основании исследований функциональности мозговой активности при мыслительных процессах (рис. 3 д, е). Оценка формирования мозговых команд в различных участках мозга и при несинхронном взаимодействии нейронов в результате задержек распространения сигналов ЭЭГ при формировании мыслей проводилась с привлечением мультипликативного (рис. 3 ж, з) и кепстрального анализ (рис. 3 и, к), результаты которых не отразили присутствие мультичастот и эхо-эффектов во временной области в процессе мозговой деятельности, что свидетельствует о синхронном характере активности нейронов и нейронных сетей при создании мысленного образа.

При распознавании мыслительных образов мозговых команд возникает проблема снижения точности из-за недостатка априорных данных, которая решается путем применения дискретного вейвлет-анализа с вычислением одномерных коэффициентов аппроксимации и детализации, что позволяет не только снизить, но и выделить оптимально лучшее пространство признаков в соответствии с заданным порогом классификации (рис. 4 а, б, в).

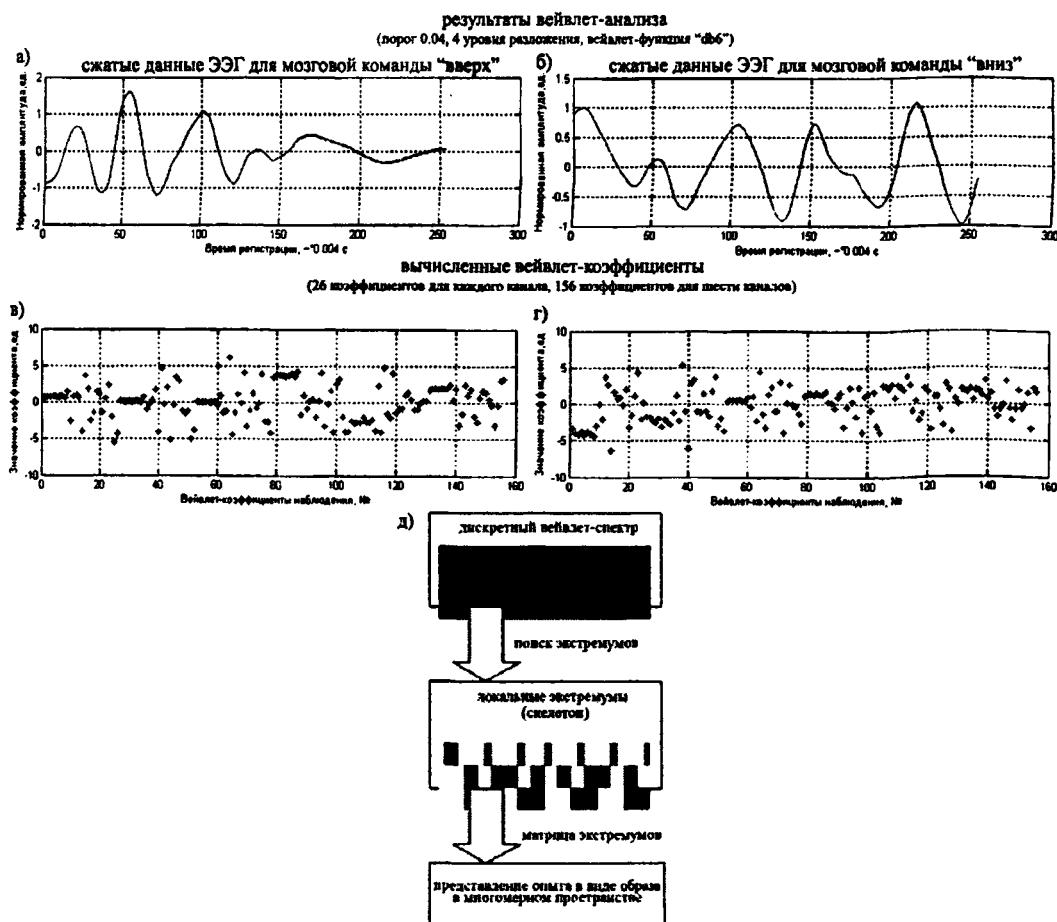


Рис. 4. Использование вейвлет-анализа для сжатия данных

При этом выбор ортогональной вейвлет-функции, количество уровней разложения и соответствующего порога проводился таким образом, чтобы обеспечить приемлемое пространство размерности при последующей обработке данных мыслительных процессов анализом главных компонент с получением максимальной дисперсии распределения проекций нейронных активностей, представленных в виде образов в многомерном пространстве головного мозга (рис. 4 г, д). В результате выполнения анализа главных компонент были получены информативные данные для шести каналов ЭЭГ. Таким образом, при проведении опытов с группой субъектов, у которых посредством ЭЭГ с частотой дискретизации 256 Гц в течении 3.5 секунд регистрировалась мозговая активность мыслительных процессов, был установлен механизм временной динамики в шести каналах ЭЭГ (областях мозга) при обработке мозговых образов.

Для анализа силы синхронного взаимодействия нейронов головного мозга был выполнен кластерный анализ, который позволил отобразить все образы опытов в многомерном пространстве головного мозга с вычислением соответствующих расстояний между образами (кластерных расстояний) (рис. 5).

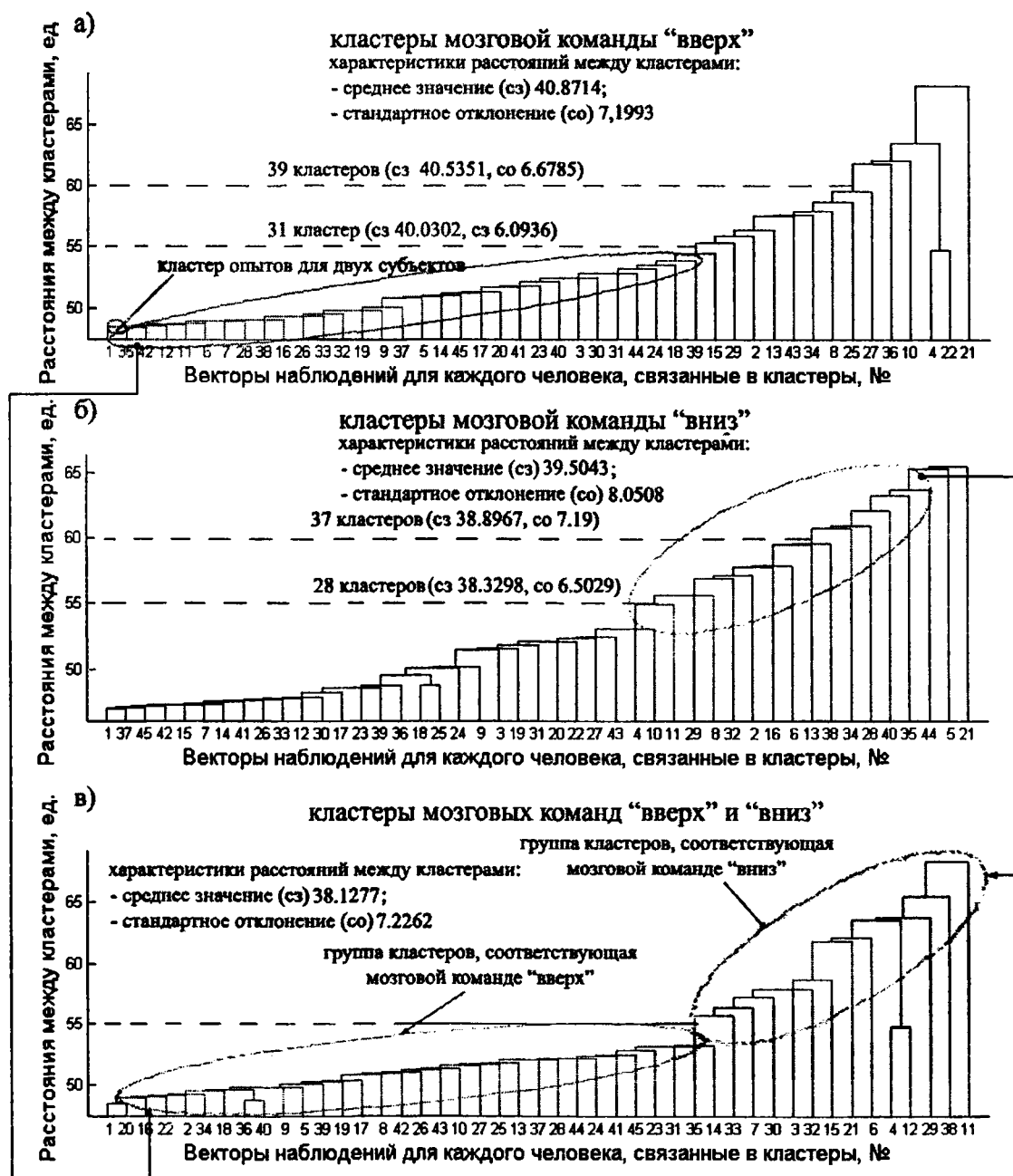


Рис. 5. Кластерный анализ функциональных состояний по шести каналам ЭЭГ мозга

Приведенная древовидная диаграмма кластерного анализа на рис. 5 указывает на более сильную синхронную активность нейронов при исполнении мозговой команды движения курсора “вверх”, которая характеризуется большим количеством нейронных кластеров и меньшим значением стандартного отклонения межкластерных расстояний в многомерном пространстве головного мозга как для всех опытов, так и, например, для установленных порогов (рис. 5 а, б). Близость средних значений кластерных расстояний при различных мозговых командах указывает на проявление гибкости работы головного мозга в формировании мыслительных процессов, так что одни и те же группы нейронов могут участвовать в проявлении различных функциональных активностей. При этом высокие показатели дисперсии распределения кластерных расстояний характеризуют структурированный подход при обработке информации нейронами мозга. При пространственном отображении всех проведенных опытов становится очевидным выделение определенных групп кластеров, соответствующих мозговым командам управления “вверх” и “вниз”, которое может быть использовано в распознавании мыслительных процессов (рис. 5 в). Стоит отметить, что не достаточно хорошо выраженная форма различия кластеров может быть обусловлена их сложным пространственным представлением, например, в виде эллипсоидной, шаровой форм. Поэтому при использовании оптимизационных подходов классификации в решении задач декодирования функциональных состояний мозга была использована кластеризация на основе итерационных методов минимизации внутрикластерной суммы расстояний объектов кластера до его центроида. Это позволило выбрать методологию оптимизационных алгоритмов для распознавания функциональных состояний мыслительной активности в головном мозге.

Созданная интеллектуальная система извлечения функциональности мозга “НЕЙРО-ДФС” на примере данных ЭЭГ функциональной активности мозга позволила провести интеллектуальную комплексную обработку сигналов, что обеспечило проведение классификации вероятностными, радиально-базисными нейронными сетями, нейронными сетями с обратным распространением ошибки, а также созданными специально их оптимизированными структурами с улучшенными методами группового учета аргументов для достижения максимальной точности прогнозирования. Полученные результаты со средней ошибкой распознавания 45% подтвердили достоверность выдвинутых положений о гибкости работы мозга, а также о формировании мозговой активности “высшего порядка” без влияния артефактов и сенсорных систем организма. Включение сенсорных систем, например, зрения позволяет оценить функциональность работы головного мозга со средней ошибкой ~ 20 %.

Современные представления о технологии передачи мыслей для обеспечения промышленной безопасности и защиты человека от опасных производственных факторов в чрезвычайных и аварийных ситуациях нацелены на то, чтобы обеспечить бесконтактную запись и передачу электрической активности мозга. Для решения подобной проблемы в настоящее время разработан новый класс беспроводных сенсорных микро-наносистем и сетей на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с радиочастотной идентификацией (RFID). ПАВ сенсорная микро-наносистема состоит из антенны и ПАВ сенсора, функционирующего как линия задержки, либо как ПАВ резонатор, и электрической схемы обработки сигналов от ПАВ сенсора и передачи информации на антенну. Измерения “слышимости” микроволн показывают, что наиболее пригодными для модуляции сигналов в частоты носителя являются частоты в диапазоне 1 Гц - 100 ГГц. Микроволны в этом диапазоне частот распространяются линейно, их можно сфокусировать, они проникают сквозь воздух и стены зданий и индуцируют токи во внутренних слоях тела человека. Для эффективной передачи носители частот должны совпадать с резонансными частотами частей тела, например, определенных нервных клеток мозга. В таблице ниже приведены основные параметры функционирования ПАВ сенсорной наносистемы е-языка и е-носа с ретранслятором сигнала. Для коэффициента сигнал-шум в антенне ридера, равном 100, максимальное расстояние взаимодействия ридера и ПАВ ретранслятора составит $r_{\max} \approx 500$ м. В микросхеме измеряется фазовый набег ПАВ, зависящий от внешних параметров окружающей среды, и преобразуется в двоичный код, который далее с помощью антенны передается на ридер. Для передачи информации используется амплитудная модуляция, а несущей является электромагнитная волна с частотой, равной резонансной частоте колебательного контура. Для генерации несущей частоты может использоваться накопленная энергия первичного электромагнит-

ного импульса, либо встроенный в микросхему источник энергии. Активная ПАВ сенсорная антенна позволяет увеличить максимальное расстояние $r_{\max} \approx 50$ км.

Реализация подобных высоких технологий на основе биотестирования функциональности мыслительных процессов в головном мозге человека с интеллектуальными алгоритмами обработки и защиты информации может найти широкое применение, в частности, в предотвращении чрезвычайных и аварийных ситуаций на дороге, а также способствовать (рис. 6):

- оптимальному управлению транспортным средством без необходимости механизированного контроля, что позволяет избежать различных обремененных энергетических затрат управления;
- стопроцентному обеспечению безопасности человека благодаря мгновенному распознаванию мыслительной команды управления в производственных процессах, в промышленности, а также в непредсказуемых случаях опасности принесения вреда здоровью человека;
- полному сокращению показателя травматизма в промышленности, строительстве, дорожно-транспортных происшествий за счет анализа мысленных кодов других объектов, например, мозговых процессов водителя и пешехода, и принятие интеллектуальной системой оптимального решения выполнения действия.
- абсолютному предотвращению случаев чрезвычайных ситуаций на производстве, например, при управлении транспортным средством в состоянии алкогольного или наркотического опьянения, посредством анализа мозговой активности мыслительной деятельности человека;
- суперзащите, например, транспортного средства от угона или полной безопасности человека от неправомерных и корыстных целей других людей через декодирование злого умысла недоброжелателя в скрытых мыслительных процессах мозговой активности;
- совершенному управлению объектом на расстоянии при использовании разработанной технологии передачи мысли, а также применению эффективного недорогого оборудования для анализа мозговых команд
- созданию умных машин нового поколения без активного участия человека в эксплуатации и в принятии решений, действий в контролировании экологической безопасности, охраны труда в организациях, опасных и вредных производственных факторов, устойчивости функционирования промышленных объектов и систем, прогнозирования чрезвычайных и сложных аварийных ситуаций природного и техногенного характера.

Таблица – Основные параметры функционирования 2.4 ГГц беспроводной пассивной ПАВ сенсорной наносистемы е-языка и е-носа с ретранслятором сигнала

Материал подложки ПАВ ретранслятора	128° LiNbO ₃	
Рабочая частота ПАВ ретранслятора, f	2.4 ГГц	
Мощность, излучаемая ридером, P_p	10 Вт	
Коэффициенты усиления антенны ПАВ ретранслятора, $G_{\text{ант}}$	6.3 (8 дБи)	
Коэффициенты усиления антенны ридера, G_p	6.3 (8 дБи)	
Входное сопротивление антенны ПАВ ретранслятора, $R_{\text{ант}}$	50 Ом	
Входное сопротивление антенны ридера, R_p	50 Ом	
Расстояние между ридером и ПАВ ретранслятором, $r_{\text{ант}}$	10 м	500 м
Ширина электрода ВШП, a	0.433 мкм	
Период ВШП, d	0.808 мкм	

Апертура ВШП, W	844.9 мкм	
Проводимость 4-х электродного ВШП, $Y_{ВШП}$	0.0017-0.0127 Ом ⁻¹	
Модуль Фурье преобразования от электростатической плотности зарядов на электродах ВШП при единичном приложенном напряжении, $\bar{p}_e(k_0)$	5.7596 · 10 ⁻¹⁰ Кл / м	
Напряженность электрической составляющей ЭМ волны на расстоянии $r_{ант} = 10$ м, $E_{пр}$	6.1482 В/м	0.1230 В/м
Сила тока в цепи ПАВ ретранслятора, возбуждаемая ридером, $I_{пр}$	0.0025-0.0032i А	4.97 · 10 ⁻⁵ – 6.37 · 10 ⁻⁵ i А
Напряжение, возбуждаемое на ВШП ридером, $U_{ВШП}$	0.2721 + 0.1592i В	0.0054 + 0.0032i В
Электрический потенциал ПАВ, возбуждаемый ридером, $\varphi_{пр}$	0.0871 + 0.0510i В	0.0017 + 0.0010i В
Мощность, излучаемая антенной ПАВ ретранслятора ридеру, $P_{из}$	1.5702 мкВт	6,281 · 10 ⁻¹⁰ Вт
Сила тока, наводимая ПАВ ретранслятором в ридере, I_p	1, 5706 мкА	6,2823 · 10 ⁻¹⁰ А
Мощность, выделяемая ПАВ ретранслятором в нагрузке ридера, $P_{возл}$	6,1668 · 10 ⁻¹¹ Вт	9,8669 · 10 ⁻¹⁸ Вт
Коэффициент ослабления по мощности, K_p	-112 дБ	- 180 дБ

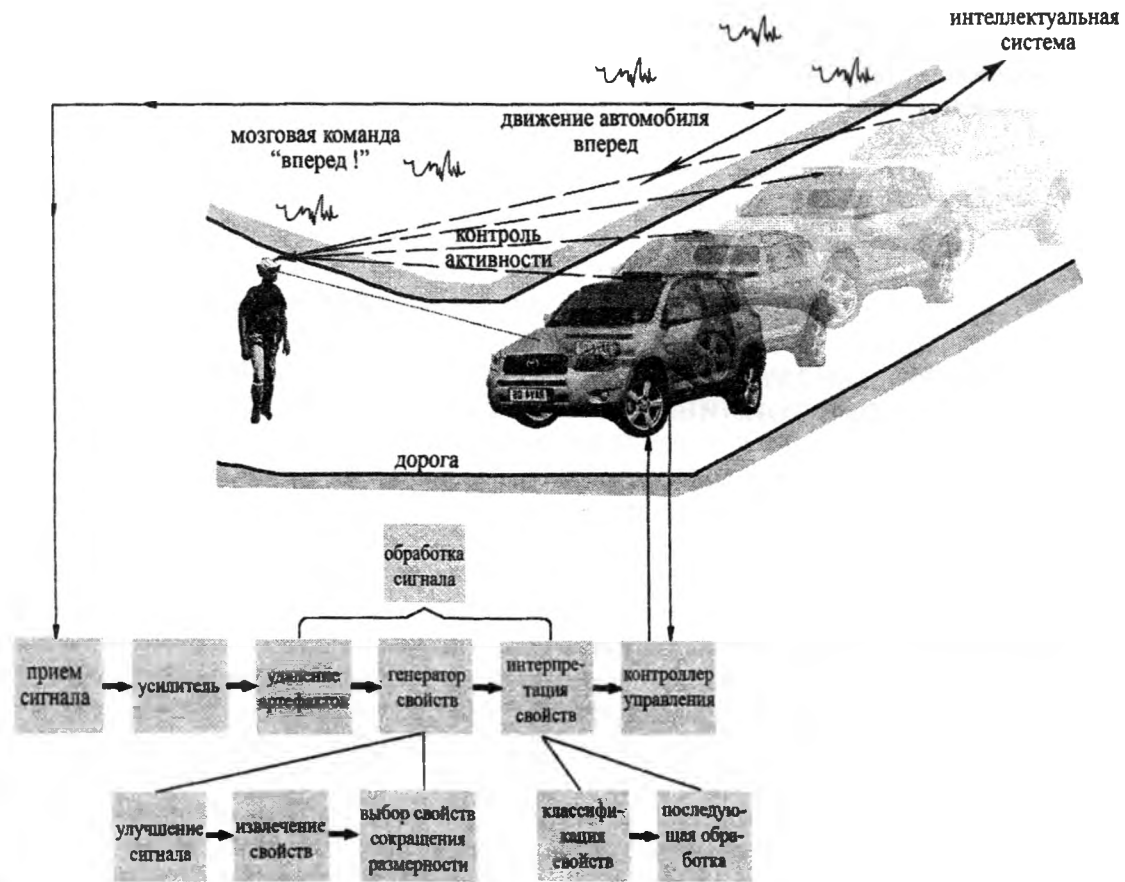


Рис. 6. Управление объектами на расстоянии с помощью мозговых команд

Поэтому разработанная нами программа “НЕЙРО-ДФС”, основанная на мощных методах обработки и оптимизационной классификации решает эффективно важные технические и общечеловеческие проблемы безопасности, существенно облегчает познание тайн функционирования работы головного мозга и приближает нас к созданию эффективных интеллектуальных систем биотестирования мыслей. Однако следует сказать, что на сегодняшний день еще нет достаточно достоверных методов регистрации функциональных состояний нейронов головного мозга и математических приемов декодирования функциональных состояний мозговых волн, что является нашей дальнейшей задачей в развитии интеллекта, проектировании умных машин и обеспечения безопасности жизни людей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koleshko V. M. Acoustic – electronic phenomenon of a brain and principles of designing of machines and mechanisms // Col “The congress on theoretical and applied mechanics”. – Minsk, 1996. – P. 47 – 49.
2. Koleshko V. M. Acoustic – electronic phenomenon and electric activity of a brain of the person // International seminar “Transfer processes in biomedical problems”. – Minsk, 1995. – P. 17 – 19.
3. Колешко В.М., Апанасевич А.В. Моделирование мозговых волн и управление объектами // Proceedings of the International Conference “Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health”. – November 8 – 10, 2005, Minsk, Belarus, Academy of Science of Belarus, 2005. – P. 228 – 232.
4. Колешко В.М., Снигирев С.А. Модель системы управления объектом на основе биоэлектрических сигналов человека // Материалы научно-практической конференции “Научная мысль информационного века”. – Киев, 2007. – С. 35 – 38.
5. Колешко В.М., Снигирев С.А. Нейрокомпьютерный интерфейс управления машиной силой мысли [электронный ресурс] // Режим доступа: www.rusnauka.com, свободный, яз.- рус., 2007.
6. Колешко В.М., Воробей Е.А. Декодирование функциональности мыслительных процессов мозговой активности для управления объектом // VI Белорусско-российская научно-техническая конференция “Технические средства защиты информации”. – Мн., 2008. – С. 35-36.
7. Николенко С. Алгоритмы кластеризации // Машинное обучение. – ИТМО, 2006. – 33 с.

УДК 543.544:543.8

Колешко В.М., Сунка В.Я., Худницкий А.А.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ МОТОРНОГО ТОПЛИВА ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ МЕТОДАМИ

*Белорусский национальный технический университет,
Минск, Беларусь*

Интенсивное развитие современной автомобильной техники постоянно диктует особые требования к качеству используемого моторного топлива, от которого зависит безаварийная эксплуатация, долговечность автомобилей и чистота окружающей среды [1]. Обеспечение высокого качества моторного топлива требует от его производителей, поставщиков и продавцов очень серьезного подхода к процессу создания продукции, ее обработки и оказания сервисных услуг.

Качество моторного топлива (бензин и дизтопливо) - это определенная совокупность физико-химических свойств нефтепродуктов, зависящих как от химического состава (плотность; вязкость; температура кипения, замерзания, вспышки, самовоспламенения и др.), так и от внешних условий (содержание воды, химических, механических и пр. примесей). Качество бензина и дизтоплива определяется системой количественных показателей, отражающих тот или иной параметр качества топлива. Современная техника предъявляет все новые требования к эксплуатационным свойствам нефтепродуктов, что влечет за собой и возрастающее значение систематического контроля их качества [2].

Среди существующих методов контроля параметров качества моторного топлива можно выделить три основные группы: лабораторные методы; хроматографические методы и экспрессные методы.

К лабораторным относятся методы контроля качества и параметров нефтепродуктов, выполняемые по следующим ГОСТам: 8226-82 - «Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа»; 511-82 - «Топливо для двигателей. Моторный метод определения октанового числа»; 3222-67 - «Топлива дизельные. Метод определения цетанового числа» и группе ГОСТов: 18597-73, 1906-73, 9144-79, 26370-84, 20924-75, 10373-75, 5066-91, 2177-99, 4039-89, 2084-77, 31077-2002, Р 51866-2002 касающейся измерения отдельных параметров моторного топлива. В Беларуси также существуют стандарты, согласно которым осуществляется контроль моторного топлива: СТБ ЕН 12177-2005 и СТБ 1276-2001.

Главным недостатком лабораторных методов является достаточно большое количества времени для получения результатов необходимых измерений, что делает их непригодными для экспрессконтроля, в т. ч. и их использования на АЗС (автозаправочных станциях).

Развитие методов аналитической хроматографии позволяет выделить в отдельный раздел автодетекторную хроматографию, в которой детектором служит сам сорбент, выполняющий двоякую функцию: разделение анализируемого вещества на компоненты и определение концентрации определяемых компонент.

Эти методы, по сравнению с лабораторными, позволяют более быстро определить углеводородный состав нефтепродуктов, их фазовый состав, содержащуюся в них воду, количество присадок и микропримесей, включая и сернистые [3]. Среди таких методов можно выделить индикаторном-адсорбционные методы [3]: определения массовой доли нерастворенной воды в моторных топливах; определения содержания противокристаллизационных жидкостей (ПВК) в топливах для реактивных двигателей; определения наличия свинца в бензинах и метод экспрессного качественного определения моющих присадок и присадок аминной группы в автомобильных бензинах.

Наряду со стандартными методами контроля качества моторных топлив и определения октановых чисел топлива получают широкое распространение экспрессметоды, основанные на применении спектральных методов анализа [4,5]. Идентификация и контроль качества осуществляется с использованием данных спектрального анализа, на основе которых определяется зависимость между набором характеристических полос поглощения, образцов моторного топлива и их физико-химическими свойствами.

Контрольная база данных измерительной системы содержит сведения об образцах топлива и их классификации, а также данные необходимые для быстрой идентификации и установления соответствия требованиям нормативных документов (вид топлива, группа топлива данного вида, марка топлива для данной группы, ГОСТ (ТУ), отправитель образца данной марки).

Идентификация основана на оценке степени близости спектральных характеристик образца к средним значениям на соответствующих характеристических полосах поглощения. Для данного варианта на заданном уровне определяется показатель степени близости, а затем выбирается тот вариант, у которого значения показателя наименьшие. Образец считается кондиционным, если расчетные значения всех показателей качества (исключая те, для расчета которых нет данных) удовлетворяют требованиям нормативного документа [4,5].

Чрезвычайно важную роль играют экспресс методы определения октанового числа автомобильных бензинов и цетановых чисел дизтоплива, в основу которых положен принцип оценки октановых и цетановых чисел по их диэлектрической проницаемости (рис. 1).

На рис. 1 для резервуара с рабочей площадью обкладок конденсатора $S_0 = (30 \times 30)$ мм² и расстоянием между ними в $d = 1,5$ мм приведены связанные значения емкости и октанового числа от диэлектрической проницаемости бензинов.

На зависимости диэлектрической проницаемости автомобильных бензинов от значения их октанового числа основан принцип действия известных в настоящее время октанометров.

Такая зависимость наблюдается лишь для октанового числа, измеренного по моторному методу, а для октанового числа, измеренного по исследовательскому методу, она не столь четко выражена. Тем не менее, учитывая то, что октанометр предназначен для широкого применения работниками АЗС и автолюбителями, для которых понятие октановое число связано только

с маркой бензина, целесообразной считается градуировка непосредственно в единицах октанового числа, измеренного по исследовательскому методу, несмотря на увеличение погрешности до 1-1,5 единиц октанового числа. Ввиду того, что низкооктановые бензины фальсифицируются достаточно редко, а измерение их октанового числа потребовало бы существенного усложнения схемы октанометров, то чаще всего ограничиваются измерением октанового числа только высокооктановых бензинов в диапазоне от 80 до 100 единиц октановых чисел.

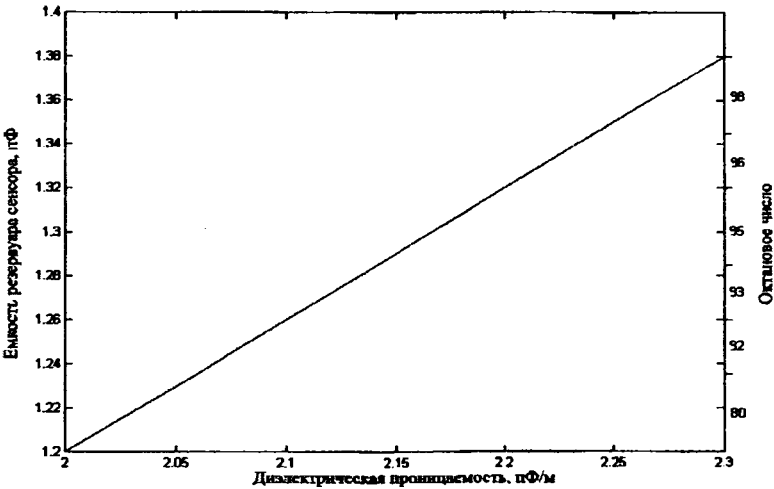


Рис. 1. Зависимость октанового числа бензина от его диэлектрической проницаемости

Реальные бензины обладают существенной удельной активной проводимостью, т.е их импеданс всегда является комплексной величиной $Z = 1/G_a + i1/\omega C_d$ [6]. Величина активной проводимости обычно находится в пределах от 5 до 100 нСм/м, а у некачественных бензинов может достигать 5000 нСм/м и более. С учетом этого измерение диэлектрической проницаемости стандартными методами (различного рода простейшие измерители емкости - октанометры) становится невозможным и все они приводят к существенному завышению значения емкости, а следовательно, и октанового числа.

На рис. 2 приведена функциональная схема одного из лучших вариантов октанометра, позволяющего одновременно выполнять две операции измерения ОЧ по реактивной составляющей (диэлектрической проницаемости) импеданса бензина и активной составляющей (проводимости) импеданса. Октанометр состоит из сенсора, включающего резервуар для заполнения бензином, и электронного блока.

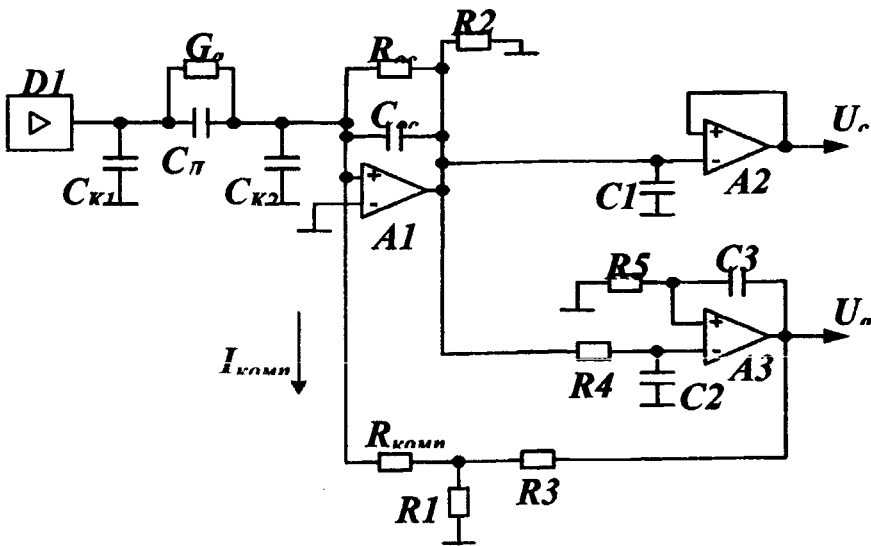


Рис. 2. Упрощенная схема измерительного блока октанометра

Импульсы питания сенсора поступают с выхода генератора на микросхеме (МС) *D1* и имеют амплитуду $U_{D1} = +5$ В и длительность импульсов ~ 150 мкс (частота генератора 6,5 кГц). Резервуар с бензином сенсора имеет ёмкость C_D и параллельную этой ёмкости активную проводимость G_a . Сенсор вместе с операционным усилителем на МС *A1* образуют усилитель заряда с коэффициентом передачи равным $K = \frac{C_D}{C_{oc}}$. Напряжение на выходе МС *A1* будет пропорционально ёмкости бензина C_D в резервуаре, а т. к. последняя прямо пропорциональна диэлектрической проницаемости, то

$$U_{выхA1} = \frac{U_{D1} \cdot C_D}{C_{oc}} = \frac{U_{D1} \cdot \epsilon_{cm} \cdot \epsilon_0 \cdot S_0}{d \cdot C_{oc}}, \quad (1)$$

где ϵ_{cm} – диэлектрическая проницаемость бензина, ϵ_0 – электрическая постоянная, C_{oc} – ёмкость обратной связи операционного усилителя на МС *A1*.

Формула (1) будет верна только при $G_a = 0$. Выходное напряжение с усилителя на *A1* поступает на УВХ (устройство выборки хранения), собранное на операционном усилителе МС *A2*. Очевидно, что амплитуда импульсов напряжения на выходе УВХ пропорциональна диэлектрической проницаемости бензина, т. е. $U_C = U_{выхA1}$.

При наличии у бензина активной проводимости $G_a > 0$ в импульсе напряжения на выходе усилителя *A1* будет происходить спад напряжения импульса в течение полупериода, определяемый постоянной $\tau = C_{oc} / G_a$. Для снижения влияния активной проводимости, которое очень сильно сказывается на измерении величины проницаемости ϵ_{cm} , введена автоматическая компенсация активной составляющей G_a . Это реализовано в схеме следующим образом. После окончания импульса питания сенсора напряжение на выходе усилителя МС *A1* не возвращается к нулю, а остается на некотором уровне, причем его величина будет строго пропорциональна величине G_a . Это остаточное напряжение поступает на дифференциальный интегратор, собранный на усилителе МС *A3*. С выхода интегратора на *A3* напряжение через делитель на *R1* и *R3* и токозадающий резистор $R_{комп}$ подается на инвертирующий вход усилителя на *A1*. Напряжение на выходе интегратора на *A3* будет уменьшаться до тех пор, пока ток $I_{комп}$ не сравняется с активным током $I_{сенси}$ сенсора.

$$I_{сенси} = 5 \cdot G_a = \frac{U_a \cdot R1}{R_{комп} (R3 + R1)} = I_{комп} \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что напряжение U_a – активной составляющей напряжение на выходе МС *A3* равно

$$U_a = \frac{5 \cdot G_a \cdot R_{комп} (R3 + R1)}{R1}, \quad (3)$$

и пропорционально проводимости датчика

$$G_a = \sigma \cdot S_0 / d,$$

где σ – активная проводимость бензина.

Использование делителя на *R1* и *R3* обусловлено тем, что резистор $R_{комп}$ обладает собственной ёмкостью, которая обычно находится в пределах (0,3-0,7) пФ. По отношению к

ёмкости C_d бензина в резервуаре сенсора это весьма значительная величина, которая может привести к существенным погрешностям измерения. Уменьшить эту составляющую погрешности возможно последовательным включением двух-трех резисторов в качестве $R_{ком}$, уменьшением амплитуды импульса на $R_{ком}$ с помощью делителя $R1$ и $R3$ и другими методами. Влияние соединительного кабеля, вносящего в схему октанометра паразитные ёмкости $C_{к1}$ и $C_{к2}$ (рис. 2), устраняется схемой включения сенсора.

Из анализа параметров известных на сегодняшний день октанометров (таблица 1) можно определить наиболее приемлемые для практического применения по их эксплуатационным характеристикам.

Таблица 1 – Основные характеристики современных октанометров

Параметры	Тип прибора	Shatox SX-300	ПЭ 7300	СВП 1.14.212	СИМ ЗБП
Диапазон измеряемых октановых чисел бензинов, ОЧ		40 – 125	66 – 98	65 – 100	60 – 100
Погрешность измерения, ОЧ		±0,5	±0,6	±0,5	±0,5
Диапазон измерения диэлектрической проницаемости моторного топлива ед.		1-5	-	-	-
Диапазон определения содержания механических примесей в нефтепродуктах, %		97 – 100	-	-	-
Диапазон определения содержания воды в нефтепродуктах, %		0 – 30	-	-	-
Время измерения, с		1 – 5	10	300	-
Индикация		ЖКИ	ЖКИ	ЖКИ	-
Микроконтроллерная обработка		+	+	-	-
Рабочий температурный диапазон, °С		-10...+45	10...+35	-5...+30	10...+30
Время непрерывной работы, ч		100	10	-	-

Таким образом, в существующих октанометрах необходимо всегда вводить компенсацию активной составляющей импеданса контролируемого продукта, например бензина. Октанометры с компенсацией активной проводимости контролируемой среды (единичные экспериментальные образцы) в технической литературе в полной мере не описаны и не проанализированы. Поэтому сделать правильное заключение о их эксплуатационных параметрах крайне сложно, тем более принять решение о целесообразности закупки для опытной эксплуатации того или иного экспериментального образца.

Одним из наиболее эффективных методов определения параметров и контроля качества моторных топлив, по нашему мнению, может стать СВЧ-метод, основанный на измерении электрофизических параметров топлива [7]. Структурная схема одного из вариантов высокочувствительного радиочастотного концентратора (рис. 3) построена по двухканальному принципу и состоит из двух идентичных измерительных каналов – рабочего и опорного (с образцовым моторным топливом). Каждый из этих каналов содержит чувствительный элемент, автогенератор 4, делитель частоты 5, вычитающее устройство 6 и микроконтроллер 7 для обработки и индикации информации. С выхода автогенератора высокочастотные колебания поступают на делитель частоты 5, в котором производится уменьшение (деление) частоты автогенератора до приемлемых значений (10-100 кГц). Затем сигналы обоих каналов поступают на вычитающее устройство 6, выходной сигнал которого является входным сигналом вычислительного устройства-микроконтроллера 7.

Чаще всего используется конструкция радиочастотного чувствительного элемента в виде отрезка длинной линии (резонатора) с U-образным внутренним проводником. Чувствительный элемент состоит из металлического экрана 1, U-образного внутреннего проводника 2, покрытого диэлектрической оболочкой, изолирующей шайбы 3 и обеспечивает получение измерительного объема необходимой информации, что требуется для проведения высокоточных измерений. На конце такого отрезка длинной линии чувствительного элемента подсоединен

реактивное сопротивление Z , в частности, может быть $Z = 0$ (длинная линия короткозамкнута) или $Z = \infty$ (длинная линия разомкнута на этом конце). Выбор указанной конструкции чувствительного элемента обусловлен тем, что в качестве U-образного внутреннего проводника можно применять стандартные провода с электрической изоляцией, не прибегая к специальным мерам по герметизации концевых участков этих проводов.

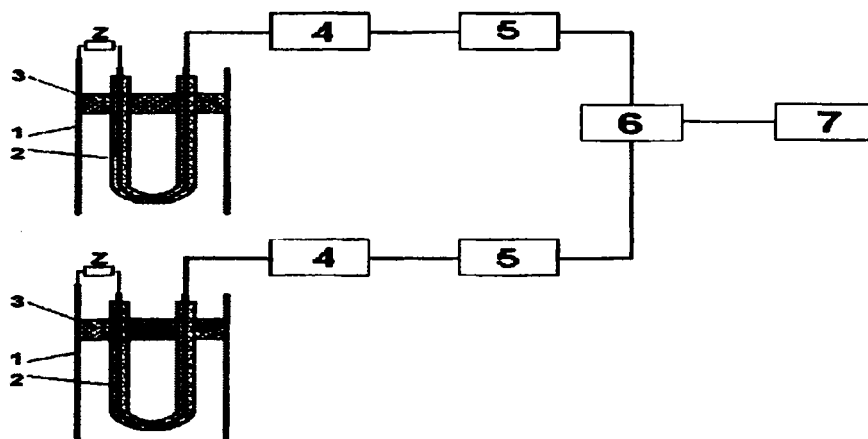


Рис. 3. Структурная схема радиочастотного концентратора

Устройство работает следующим образом. Отрезок длинной линии, образуемый совокупностью внутреннего U-образного проводника и металлического цилиндрического экрана, включен в частотно-задающую цепь автогенератора. С применением автогенератора в данной отрезке длинной линии – радиочастотном резонаторе – возбуждают электромагнитные колебания (диапазон частот 1-100 МГц). При изменении электрофизических свойств контролируемой жидкости (например, диэлектрической проницаемости бензина) происходит изменение резонансной частоты отрезка длинной линии и, соответственно, изменение частоты автогенератора, которая затем и измеряется.

Измеряя резонансную частоту, можно найти текущее значение определяемого физического свойства (например, концентрации) контролируемой жидкости. Данный СВЧ метод весьма перспективен для измерения параметров моторного топлива, концентрации в нем различных присадок и т. д. СВЧ метод требует дальнейших работ в области практического использования, он позволяет существенно повысить точность измерения электрофизических параметров моторного топлива автомобильного транспорта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Суслин М.А. Микроволновый контроль авиационных ГСМ. – М.: Издательство Машиностроение. 2006. – 118с.
2. ЗАО "Независимое нефтяное обозрение "Скважина" [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.nefte.ru>.
3. Материалы и оборудование для тонкослойной хроматографии [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sorbfil.com>.
4. В.Н. Королёв, А.В. Маругин, В.Б. Цареградский. Метод определения детонационных характеристик нефтепродуктов на основе регрессионного анализа спектров поглощения в ближайшем инфракрасном диапазоне // Журнал технической физики. 2000. - №9. – с. 83-88.
5. С.М. Бычков, А.Н. Коваленко, А.Л. Мазаник и др. Автомобильные бензины. Способы фальсификации и методы их выявления // Партнеры и конкуренты. 2004. - №4.
6. Espec [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://monitor.espec.ws>.
7. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин. – М.: Наука. 1978. – 280с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ БАЛЛИСТИЧЕСКОГО КВАНТОВОГО НАНОСЕНСОРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ КОСМИЧЕСКИХ МИКРОЧАСТИЦ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

В настоящее время интенсифицируется развитие новых научно-технических направлений, связанных с созданием эффективных технологий получения и использования спутниковой информации. Космические аппараты для реализации таких технологий рассчитаны на долговременную работу на околоземных орбитах, поэтому первостепенное значение приобретают вопросы их взаимодействия с различными факторами космической среды. Одним из факторов, оказывающих существенное влияние на стабильность функционирования орбитальных комплексов, является интенсивный поток метеороидных и техногенных микрочастиц. Дело в том, что на околоземных орбитах образовались облака частиц микрометровых размеров, интенсивность потоков которых на 3–4 порядка выше, чем в межпланетном пространстве. В связи с этим проблемам контроля характеристик потоков высокоскоростных космических микрочастиц уделяется пристальное внимание. В частности, разрабатываются специальные сенсорные приборы, позволяющие оценивать концентрацию орбитальных микрочастиц и их основные параметры (скорость, массу, размеры).

Конструктивно-технологические решения квантового баллистического наносенсора для контроля микрочастиц

Для контроля микрочастиц, имеющих массу более 10^{-8} кг и скорость выше 10^4 м/с используются, в частности, многослойные структуры металл–диэлектрик–металл (МДМ) на основе полимерных пленок толщиной 10–20 мкм [1]. В основу функционирования таких структур положен механизм объемной ионизации диэлектрика (например, полиметилметакрилата) и инерциального разлета ударной плазмы при высокоскоростном механическом воздействии. Измерению подвергаются параметры МДМ-структуры, определяемые генерацией носителей заряда в диэлектрике и возрастанием проводимости подвергающегося удару участка диэлектрика. Например, регистрируется импульс тока через МДМ-структуру при сквозном проникании космических микрочастиц. Для контроля микрочастиц с более низкой скоростью и меньшей массой необходимо, в частности, уменьшение толщины полимерной пленки, что трудно реализуемо в объеме известного конструктивно-технологического решения.

В связи с изложенным представляется целесообразным создать для контроля космических микрочастиц сенсорную наноструктуру с отдельным выполнением комплекса функций по преобразованию энергии удара микрочастицы в электрический сигнал на выходе сенсора. Так, один из элементов сенсорной наноструктуры предназначается для улавливания микрочастицы и преобразования энергии механического удара в тепловую. Другой элемент выполняет функцию преобразования механических и термических параметров в электрический сигнал (рис. 1). В такой сенсорной микросистеме активным сенсорным наноэлементом, воспринимающим механическое и термическое воздействие, служит туннельная МДМ-наноструктура. диэлектрическая пленка которой имеет толщину порядка 2–10 нм [2, 3]. В качестве материалов сверхтонкой диэлектрической пленки в данном случае применяются окислы металлов, в том числе редкоземельные оксиды, имеющие ряд существенных достоинств [4, 5]. Сверху МДМ-наноструктуры наносится тонкий полимерный слой, в котором при ударе высокоскоростной космической микрочастицы образуется тепловой канал от точки удара до МДМ-наноструктуры.

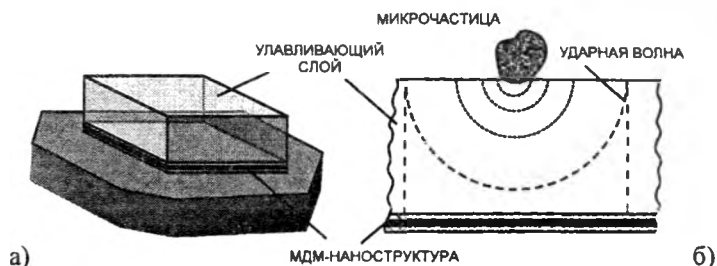


Рис. 1. Конструктивное решение баллистического наносенсора (а) и модель воздействия космической микрочастицы (б)

Предложенная конструкция позволяет повысить чувствительность сенсорной системы к удару микрочастицы, то есть сместить диапазон контролируемых параметров частиц в сторону малых скоростей и масс. Повышение чувствительности туннельной сенсорной МДМ-наноструктуры происходит за счет того, что при ее использовании измеряется возрастание тока в момент удара по сравнению с величиной туннельного тока при отсутствии механического воздействия. Минимальный уровень регистрируемого тока (то есть чувствительность МДМ-наноструктуры) в данном случае определяется параметрами системы обработки информации и может быть достаточно малым. Напротив, в известной сенсорной структуре «металл–полимер–металл» до удара ток не протекает, при этом появление импульса тока определяется процессом пробоя полимерного слоя микрочастицей. Зависимость тока от параметров полимера (в частности, от толщины) является пороговой функцией, что снижает возможность контроля космических микрочастиц, имеющих низкую скорость и малую массу (то есть снижает чувствительность сенсорной системы).

Физические эффекты в квантовой МДМ-наноструктуре при воздействии высокоскоростных космических микрочастиц

При создании модели баллистического квантового наносенсора предполагается, что воздействие микрочастицы на туннельную МДМ-наноструктуру сопровождается следующими физическими явлениями. Попадание высокоскоростной микрочастицы в улавливающий полимерный слой возбуждает ударную волну, которая при достижении тыльной стороны данного слоя вызывает повышение электропроводности диэлектрика МДМ-наноструктуры. Повышение электропроводности ударно сжатого диэлектрика связывают с изменением его свойств за счет ионизации, происходящей при высоких давлениях, возникающих на фронте ударной волны. Прохождение ударной волны через полимерный слой приводит к повышению его температуры, что в свою очередь влияет на токоперенос через туннельнотонкий диэлектрик МДМ-наноструктуры. Изменение плотности туннельного тока при повышении температуры характерно для температурно-зависимых механизмов проводимости тонких диэлектрических пленок. Таким образом, для анализа работы квантового баллистического наносенсора возможно использование аналитических моделей, описывающих ударное воздействие на диэлектрик, а также эффекты токопереноса в тонких диэлектрических пленках.

При моделировании параметров баллистических туннельных МДМ-наносенсоров делается ряд допущений, качественно не изменяющих характер процессов при воздействии микрочастицы. Считается, в частности, что из точки контакта микрочастицы с сенсорной структурой (мишенью) распространяется сферическая волна, амплитуда которой вычислена в соответствии с ударной адиабатой вещества преграды (мишени). Распределение параметров ударной волны и материала мишени от точки контакта с ней микрочастицы до фронта волны предполагается однородным. В материале ловушки для микрочастиц и диэлектрике МДМ-наноструктуры не происходят фазовые переходы в энергетических режимах, достигаемых при ударе. Затухание ударной волны в материалах моделируемой сенсорной структуры определяется законом сохранения энергии. Кроме того, при рассмотрении процесса распространения ударной волны в сенсорной системе учитывается только материал ловушки микрочастиц – полимерного слоя, при этом пренебрегаем параметрами МДМ-наноструктуры. Такое упрощение вполне допустимо,

поскольку толщина улавливающего слоя много больше толщин тонких пленок металла и диэлектрика МДМ-наноструктуры: толщина полимерного слоя — 2–20 мкм, диэлектрика МДМ-наноструктуры — 2–10 нм, металлических электродов — ~ 100 нм.

Проводимость G ударно сжатой МДМ-наноструктуры, зависящая от удельной электропроводности сверхтонкой диэлектрической пленки, определяется выражением:

$$G = G_0 \Phi(E_M) \Rightarrow G_0 \Phi[\exp(-\Delta E/k_B T)], \quad (1)$$

где G_0 — проводимость наноструктуры без непосредственного, прямого учета механического воздействия удара микрочастицы; $\Phi(E_M)$ — функция от механической энергии E_M микрочастицы в момент удара; ΔE — энергия активации токопереноса в МДМ-наноструктуре за счет механического воздействия при ударе микрочастицы; k_B — постоянная Больцмана; T — абсолютная температура, зависящая от энергии удара микрочастицы E_M . Величина проводимости G_0 обусловлена механизмами токопереноса в сверхтонком диэлектрике, которые могут быть как термически активируемыми, так и независимыми от температуры. Термически активируемый перенос заряда возрастает при увеличении температуры диэлектрика вследствие удара микрочастицы. Рост проводимости наноструктуры за счет увеличения токопереноса при повышении температуры в момент удара можно выразить следующей формулой:

$$G_0 \Rightarrow J_0(T) = J_0^0 + \Delta J_0(T) \Rightarrow G_0^0 + \Delta G(T). \quad (2)$$

Влияние моделируемых физических явлений, наблюдающихся в МДМ-наноструктуре в момент воздействия высокоскоростной микрочастицы, на электрические параметры наноструктуры, поясняется с помощью ее эквивалентной электрической схемы, отражающей зависимости (1) и (2) и представленной на рис. 2.

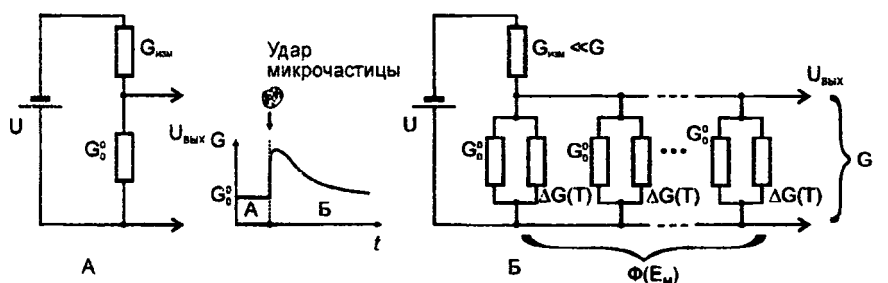


Рис. 2. Эквивалентная электрическая схема квантовой МДМ-наноструктуры до удара (А) и при воздействии (Б) микрочастицы.

Влияние механических параметров удара микрочастицы на проводимость квантовой МДМ-наноструктуры

Влияние механических параметров космической микрочастицы на сенсорную МДМ-наноструктуру в момент удара определяется по следующему алгоритму [6]. Давление на фронте ударной волны, вызванной воздействием микрочастицы, рассчитывается в соответствии с теорией ударных волн и равно:

$$P = \rho_r W_0^2 / (1 - \alpha_m)(1 + a)^2, \quad (3)$$

где $a = (\rho_r / \rho_m)^{1/2}$, ρ_r , ρ_m — плотности частицы и мишени; W_0 — скорость соударения; $\alpha \approx 0,5$. На основании закона сохранения энергии внутренняя энергия, запасенная в объеме канала распространения ударной волны за время действия частицы на сенсорную систему, равна:

$$E = \rho_m \epsilon V(t), \quad (4)$$

где ε — внутренняя удельная энергия; $V(t)$ — объем канала распространения ударной волны; t — время.

Температура T во фронте ударной волны определяется на основе ее связи с внутренней удельной энергией:

$$T = k\varepsilon \quad (5)$$

где k — коэффициент пропорциональности. На основе определения закона движения фронта ударной волны и ее скорости, а также промежутка времени от момента удара до прихода ее к тыльной поверхности улавливающего слоя, рассчитан закон охлаждения полимерного слоя:

$$T = T_0 + 1,5W_0k/\pi\rho_m\{W_0t[(1 - \alpha_m)(1 + a)^{-1} + L + d]^3, \quad (6)$$

где L — расстояние от источника ударной волны до диэлектрика МДМ-наноструктуры; d — толщина диэлектрической пленки МДМ-наноструктуры. Здесь учтено условие $L \ll d$; значение k принято равным $k = 4,6 \cdot 10^{-4}$ К·кг/Дж (уточнение значения k для конкретного диэлектрика МДМ-наноструктуры приводит к пропорциональному изменению T , при этом ход зависимости T не изменяется).

Следует учесть, что проводимость МДМ-наноструктуры в момент воздействия микрочастицы складывается из проводимостей образовавшегося теплового канала и остальной части МДМ-контакта. При этом имеется в виду, что зависимость проводимости наноструктуры от удельной электропроводности, если она является функцией только времени, имеет следующий вид:

$$G = v(t)/d^2 \cdot \sigma(t) = v(t)/d^2 \cdot \sigma_0 \exp(-\Delta E/k_B T). \quad (7)$$

Полная проводимость МДМ-контакта за счет удара микрочастицы равна:

$$G_g = G_0 \{1 + [\sigma(t)/\sigma_0 - 1] S_k(t)/S_g\}, \quad (8)$$

где S_g — площадь всей поверхности МДМ-контакта; $S_k(t)$ — площадь канала ударного воздействия микрочастицы. С учетом (6) временная зависимость проводимости сенсорной МДМ-наноструктуры как функция параметров улавливающего слоя и контролируемой микрочастицы имеет следующий вид:

$$G_g = G_0 \left[1 + \left\{ \frac{\exp[-\Delta E/k_B(T_0 + EN^{-1})]}{\exp(-\Delta E/k_B T)} - 1 \right\} \frac{\pi D t (Dt + 2L)}{S_g} \right], \quad (9)$$

где D — скорость ударной волны; N — параметр, определяемый температурой во фронте ударной волны.

Выполнен расчет параметров процесса воздействия высокоскоростной микрочастицы на квантовую сенсорную наноструктуру при следующих исходных данных: толщина тонкой диэлектрической пленки МДМ-наноструктуры равна 10 нм, диаметр космической микрочастицы составляет 1 мкм, ее скорость лежит в пределах $(1-10) \cdot 10^3$ м/с (рис. 3). Площадь канала распространения ударной волны после воздействия микрочастицы плавно возрастает и за $4 \cdot 10^{-9}$ с увеличивается от 0 до $2 \cdot 10^{-9}$ м². Наблюдается также плавный спад температуры со временем, причем изменение температуры происходит наиболее резко в первые $0,2 \cdot 10^{-9}$ с после удара микрочастицы.

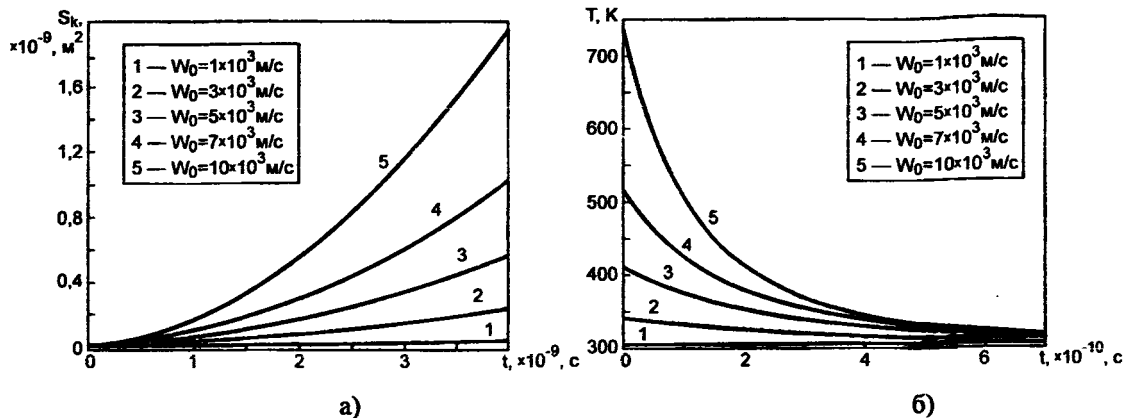


Рис. 3. Изменение площади (а) и температуры (б) нагрева МДМ-наноструктуры после удара микрочастицы.

Влияние температуры в канале ударной волны на параметры квантовой МДМ-наноструктуры

Проводимость G_0 ударно сжатой МДМ-наноструктуры, определяемая протекающим через наноструктуру током, обусловлена механизмами токопереноса в туннельнотонком диэлектрике. В соответствии со схемой измерения параметров сенсорной МДМ-наноструктуры (рис. 2) взаимосвязь между проводимостью G_0 и током I_0 имеет следующий вид:

$$G_0 = J_0 G_{изм} / (U G_{изм} - J_0), \quad (10)$$

где U — напряжение питания; $G_{изм}$ — проводимость измерительной цепи. Механизмы токопереноса в сверхтонкой диэлектрической пленке МДМ-наноструктуры могут быть как термически активируемыми, так и независимыми от температуры. Термическая активация участвует при эмиссии Шоттки–Ричардсона, эффекте Пула–Френкеля, прыжковой проводимости, не обладает температурной зависимостью ток через диэлектрик при туннелировании по механизму Симмонса или Фаулера–Нордгейма, а также ток, ограниченный пространственным зарядом. Наибольший интерес для нашего рассмотрения представляет эффект термически активируемого токопереноса, вносящий вклад в общую проводимость сенсорной МДМ-наноструктуры в момент воздействия микрочастицы за счет увеличения температуры в канале распространения ударной волны.

Значение тока через туннельнотонкий диэлектрик в случае эмиссии Шоттки–Ричардсона определяется выражением:

$$J_0 = R T \exp(-\varphi_0 / k_B T) \exp(\beta_S \sqrt{E} / k_B T), \quad (11)$$

где φ_0 — высота барьера металл–диэлектрик; E — напряженность электрического поля в диэлектрике. Коэффициент Шоттки β_S равен:

$$\beta_S = (q^3 / 4 \pi \epsilon_0 \epsilon_i)^{1/2}, \quad (12)$$

где ϵ_0 — электрическая постоянная; ϵ_i — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрика. Постоянная Ричардсона R имеет вид:

$$R = 4 \pi m^* q k_B^2 / h^3, \quad (13)$$

где m^* , q — соответственно эффективная масса и заряд электрона; h — постоянная Планка. Высота энергетического барьера φ_0 определяется выражением:

$$\varphi_0 = \varphi_m - \varphi_i, \quad (14)$$

где φ_m , φ_i — соответственно работа выхода металла и диэлектрика.

Если наблюдается эффект Пула–Френкеля, значение тока через МДМ-наноструктуру равно:

$$J_0 = qN_C\mu(T)\exp(-\varphi_0/k_B T)\exp(\beta_{PF}\sqrt{E}/k_B T), \quad (15)$$

где N_C — эффективная плотность состояний в зоне проводимости диэлектрика; $\mu(T)$ — подвижность носителей. Коэффициент Пула–Френкеля β_{PF} равен:

$$\beta_{PF} = 2\beta_S. \quad (16)$$

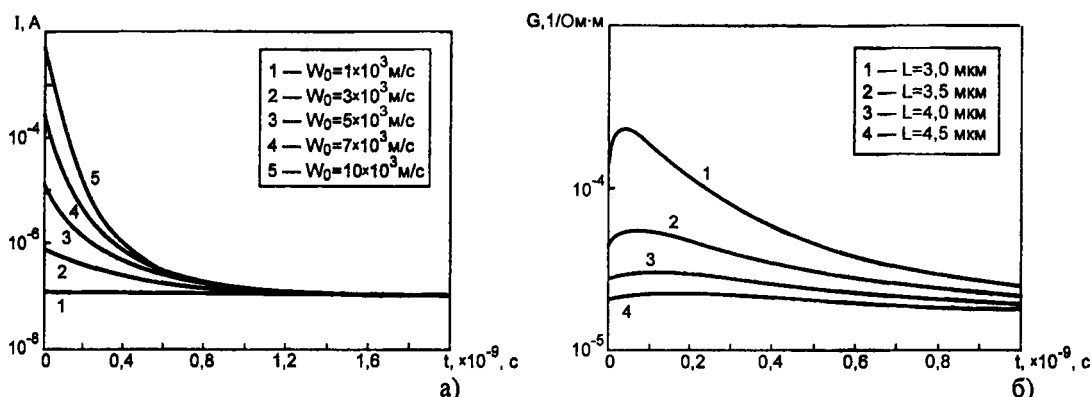


Рис. 4. Изменение тока через МДМ-наноструктуру (а) и ее проводимости (б) после удара микрочастицы.

Определение параметров баллистического наносенсора с учетом влияния удара микрочастицы на протекание тока через МДМ-наноструктуру позволило выявить следующие зависимости (рис. 4). В случае проявления в сверхтонкой диэлектрической пленке эффекта Шоттки-Ричардсона изменение тока после удара повторяет ход зависимости температуры МДМ-наноструктуры от времени. Проводимость данной наноструктуры в первоначальный момент после ударного воздействия резко возрастает, а затем происходит медленное снижение ее значения. Рост проводимости после удара микрочастицы обусловлен, по-видимому, превалирующим влиянием ударного воздействия на МДМ-наноструктуру в сравнении со снижением проводимости из-за спада температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ротов С. В., Семкин Н. Д., Воронов К. Е. Ионобразование и проводимость активной пленочной МДМ структуры при сквозном проникании космических пылинок // Журнал технической физики. — 2001. — Т. 71. — Вып. 1 — С. 112–116.
2. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Баллистические наносенсоры на туннельном эффекте // Наноструктурные материалы — 2008: Беларусь–Россия–Украина (НАНО–2008). Материалы Первой международной научной конференции. Минск, 22–25 апреля 2008 г. — С. 601–602.
3. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Наносенсоры на основе сверхтонких пленок редкоземельных соединений // Нанотехника. — № 1. — 2009. — С. 45–48.
4. Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А. Получение туннельных сенсорных МДМ-наноструктур на основе оксидов РЗЭ // Теоретическая и прикладная механика. — Вып. 22. — 2007. — С. 287–296.
5. Гулай В. А. Электрофизические свойства туннельных сенсорных МДМ-наноструктур на основе оксидов РЗЭ // Электроника-инфо. — № 9. — 2007. — С. 52–56.
6. Семкин Н. Д., Воронов К. Е. Проводимость ударно сжатых МДМ структур на основе полиметилметакрилата // Журнал технической физики. — 1998. — Т. 68. — № 8 — С. 63–66.

ПРОГРАММЫ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ЛИТЬЯ МЕТАЛЛОВ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Главная задача при проектировании формы и технологического процесса литья металлов – избежать образования дефектов в отливке. К наиболее распространенным дефектам относятся раковины, «холодные» спаи, скопления загрязнений, нарушения кристаллической структуры металла, чрезмерные остаточные напряжения и т.д. Полностью избежать образования дефектов избежать обычно не удастся по самой природе литья, поэтому необходимо сконцентрировать их в частях отливки, удаляемых при дальнейшей обработке.

Несмотря на многовековой опыт, получение сложной отливки без дефектов остается не тривиальной задачей. При традиционной технологии, если отливка получалась с браком, то изменяют геометрию форму или параметры литья, основываясь как на общих закономерностях технологии, так и, в значительной мере, на опыте и интуиции литейщика. Для сложной или тяжелой отливки отработка технологии литья могла длиться несколько месяцев, требуя при этом серьезных финансовых вложений.

Сегодня такой подход неприемлем. Одна из причин в том, что скрытый дефект отливки может привести к браку, который проявится только после механообработки. В этом случае убытки предприятия могут многократно превысить стоимость самой отливки, не говоря уже о потерянном времени. Кроме того, развитие глобализации привело к переводу значительной части реального производства в страны Юго-Восточной Азии (в первую очередь, Китай и Индию). В этой ситуации единственный путь получения приемлемой прибыли для европейских предприятий – это кардинальное сокращение времени выполнения заказа и сокращение расходов производства, при поддержании высочайшего качества литья. Поэтому в настоящее время не остается времени (и денег) на выпуск пробных партий и поэтапную отработку технологии литья сложной отливки, исключающей появление брака.

Решение этих проблем лежит на пути компьютерного моделирования литейных процессов. При компьютерном моделировании можно визуально, на экране монитора, смоделировать весь процесс изготовления отливки, включая заливку формы, кристаллизацию сплава и образования усадочных дефектов.

В настоящее время сформировались следующие основные задачи, которые призваны решать программы для моделирования литья металлов. Это:

- отработки сложных или ответственных технологий (как серийных, так и разовых);
- определения параметров, наиболее важных по влиянию на качество и выход годных изделий;
- нахождения причин брака в уже применяемых неудачных технологиях;
- определения устойчивости технологии к изменению внешних параметров;
- поиск новых технологических решений получения сложных отливок.

Умение корректного решения этих задач приобретает важное, а зачастую и решающее, конкурентное преимущество. Одна из причин этого в том, что использование компьютерного моделирования предполагает высокую культуру проектирования, и производства. В частности, использование моделирующих систем позволяет технологу изучить процессы, идущие в отливке и понять, по каким причинам образовывается тот или иной дефект в конкретной отливке при данных конкретных технологических параметрах, т.е. «увидеть» то, что в реальности он увидеть не может. В итоге использование технологом-литейщиком моделирующей системы существенно повышает его квалификацию, причем в достаточно короткое время. Поэтому все чаще заказчики на литейную продукцию в списке требований к производителю выдвигают требование об обязательном использовании компьютерного моделирования.

Моделирование литья включает в себя следующие типовые этапы. В первую очередь, должна быть подготовлена твердотельную модель отливки в любой CAD-системе. К отливке

добавляется модель литниковой системы (стержни, холодильники и т.д.), а в ряде случаев, и модель формы для литья. Твердотельные модели обычно сохраняются в специальном промежуточном формате STL и передаются собственно в расчетный пакет, моделирующий литье. В дальнейшем полученная из CAD-пакета геометрия разбивается на сетку конечных элементов (или, в некоторых пакетах, конечно-разностную сетку).

Перед началом расчета задается марка литейного материала, его температура, давление впрыска; материал и температура формы, вид заливки. Исходя из выбранных материалов, автоматически задаются их теплофизические характеристики (теплопроводность, теплоемкость, скрытая теплота кристаллизации и их зависимости от температуры). Эти характеристики берутся из базы данных, но при необходимости их можно уточнить и «вручную». Аналогично, из базы данных автоматически задаются граничные условия «отливка – форма» (коэффициенты теплопередачи, излучения и т.д.).

Далее выполняется важнейший и наиболее длительный этап – гидродинамический расчет заполнения формы расплавом. В ходе его выполнения моделируется движение фронта расплава металла с учетом эффектов сжимаемости, турбулентности и теплопереноса. В ряде пакетов учитывается еще и движение вытесняемого воздуха и газов, выделившихся в процессе литья (например, при сгорании выплавляемой модели).

Одновременно выполняется термический расчет с целью определения тепловых потоков и температур в системе «отливка – форма – окружающая среда». В алгоритм теплового расчета заложен учет теплопередачи посредством теплопроводности, конвекции, излучения. При этом учитывается сложный характер теплообмена на границе «отливка–форма» с учетом прослоек (окислы, покрытия) и зазоров, а также выделение тепла при затвердевании и перехода металла в разные металлургические фазы. Параллельно определяется распределение температур и в самой форме.

Результатом совместного гидродинамического и теплового расчета является поля скоростей потока, давления и температур в любой момент заполнения формы. Анализ процесса заполнения формы сам по себе дает ценную информацию для оценки возможности образования и места расположения многих дефектов. Например, преждевременное затвердевание расплава в сужении, соединяющего различные области отливки, может привести либо к недоливу (рис. 1), либо к повышенной пористости стальной отливки.

Совместный расчет течения расплава и теплообмена позволяет также определить участки размывания песчаной формы, холодные спаи и другие дефекты заполнения, возможные места образования воздушных карманов или скопления частиц загрязнений и т.д. Но, главное, результаты гидродинамического и теплового расчета служат в качестве исходных данных для дальнейшего расчета показателей качества отливки.

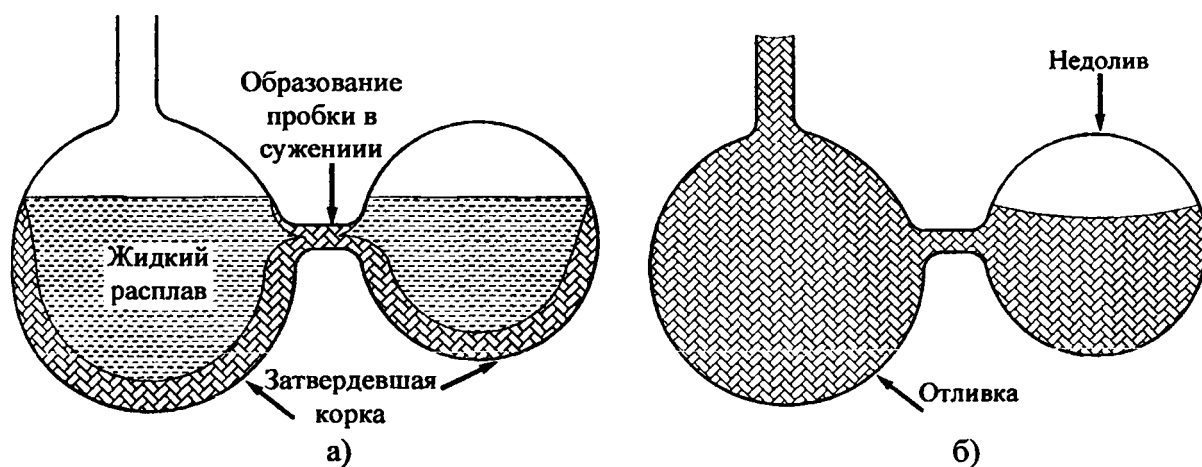


Рис. 1. Пример образования дефектов литья

Расчет распределение макропористости в отливке основан на вычислении объемной усадки металла в процессе застывания и движения зеркала расплава в каждой изолированной области. Расчет микропористости обычно всдется на основе критерия Нийяма.

Анализ изменений теплового поля при остывании позволяют определять микроструктуру и механические свойства отливки. Такой анализ позволяет прогнозировать с высокой точностью конечную форму отливки с учетом деформаций и остаточных напряжений, оценить степень коробления и даже усталостную прочность отливки. Кроме того, легко определить оптимальную температуру выемки отливки из формы, ниже которой не будет происходить деформация отливки и образование «горячих трещин».

Важнейшая характеристика пакетов для моделирования литья — это степень соответствия получаемых результатов реальным данным. Точность расчета в первую очередь зависит от того, насколько свойства фактически используемого материала и граничные условия на границе «отливка — форма» соответствуют параметрам, принятым в модели. Для уточнения значений параметров модели многие пакеты имеют специальные модули обратного моделирования, позволяющие по результатам пробных заливок «настроить» пакет на конкретный металл, фактическую технологию литья и т.д. Такой модуль позволяет определить конкретные параметры модели на основе замеров реальных температур и сравнения с их результатами виртуального моделирования. Определение искомых параметров производится путем минимизации разницы между рассчитанными и измеренными температурами в определенное время и на определенных участках анализируемой системы. Посредством такой автоматизированной процедуры возможно уточнение как граничные условий в системе «отливка — форма» (коэффициента теплопередачи, коэффициента теплоизлучения и т.д.), так и теплофизических характеристик материала (теплопроводность, теплоемкость, скрытая теплота кристаллизации и т.д.).

На сегодня в мире насчитывается более десяти систем автоматизированного моделирования литейных процессов. В Европе и США наиболее распространены ProCast (ESI Group, разработчики в США и Швейцарии) и MagmaSoft (разработчики в Германии). По данным производителей, за последние 10 лет было приобретено не менее чем 400–500 лицензий на каждую из этих программ по всему миру. В Европе более популярна система MagmaSoft, в США — ProCast.

MagmaSoft (www.magma-soft.com) — один из первых коммерческих пакетов для моделирования литья. Длительный опыт использования на литейных предприятиях по всему миру позволили ему приобрести репутацию простого, надежного и точного пакета. К сильным сторонам MagmaSoft относится его «инженерная» направленность, нацеленная на удобство работы специалиста именно в области литья, а не численных методов расчета. Например, есть отдельные модули для моделирования литья колесных дисков, литья в одноразовые формы с наклоном и поворотом, моделирования заливки из стопорного или чайникового ковша и т.д.

Для оценки показателей качества отливки широко используются критериальные методы, основанные, в том числе, и на многолетнем опыте сотен пользователей пакета. Используются как общеизвестные критерии (например, критерий Нияма для оценки микропористости), так и «фирменные», интегрированные в пакет. Базой для расчета значений критериев являются результаты конечно-разностного расчета течения и застывания расплава. Такой подход облегчает задачи моделирования типовых задач литья, хотя может затруднять получение точного решения в нетипичных ситуациях.

К недостаткам MagmaSoft следует отнести невысокую точность расчета литья тонкостенных отливок и литья в кокиль. Он также является одним из самых дорогих пакетов в своем классе (по критерию «цена/функциональность»). В целом MagmaSoft можно отнести к надежной, проверенной системе «среднего» класса, ориентированной на решение типовых задач литья.

ProCast (www.esi-group.com) — это «тяжелая» универсальная система, предназначенная для решения задач литья любой сложности с максимально точным учетом всех действующих факторов. В отличие от MagmaSoft, в ProCast методом конечных элементов моделируются не только тепловые, гидродинамические и деформационные процессы, но и процессы кристаллизации. В первую очередь эта особенность важна при моделировании процессов литья (выращивания) лопаток для турбин различного типа.

Модуль гидродинамики в этом пакете может использоваться для расчета любого типа заполнения, вплоть до самих высоких скоростей течения, встречающихся при литье под давлением. Реализовано моделирование турбулентностей, течение сжимаемых и других не Ньютоновских жидкостей (пластмасса, восковые модели). Моделируется также процесс выжигания пены

горячим металлом, отвод образующихся газов и заполнение самой формы с учетом вентиляционных отверстий в металлических формах или отвода газов через стенки песчаной формы.

К особым достоинствам этого пакета следует отнести возможности учета сложных тепловых граничных условий (например, при направленном затвердевании лопаток). Возможно также моделировать многоцикловую работу пресс-форм, с учетом постепенного прогрева пресс-формы в процессе многократного повторения цикла «впрыск — затвердевание — выемка».

Модуль расчета напряжений позволяет вычислять как термические напряжения, так и напряжения, возникающие при взаимодействии отливки с формой и другой технологической оснасткой. Напряжения рассчитываются одновременно во всех областях геометрической модели (в отливке, форме, стержнях, холодильнике и т.д.) по упруго-пластичной или упруго-вязкопластичной модели. Учитывается зависимость свойств материалов (модуль упругости, коэффициент Пуассона, предел текучести, кривая упрочнения) от температуры. Учитывается особенности контактного взаимодействия между отливкой и формой. При этом тепловое сопротивление на их границе является функцией имеющегося зазора, который может меняться в ходе расчета.

Интересной особенностью ProCast является модуль CAFE (Cellular Automated Finite Element — клеточный автомат на основе конечных элементов), который позволяет моделировать развитие кристаллической структуры отливки с момента зарождения первых кристаллов. В модуле применены стохастические модели, позволяющие определить размер зерна, расстояния между вторичными ветвями дендритов, фазы, радиус графитовых включений.

ProCast наиболее востребован при литье по выплавляемым или выжигаемым моделям, при литье в кокиль, а также при литье лопаток турбин.

К недостаткам ProCAST можно отнести то, что для полного использования возможностей системы требуется высокая квалификация специалиста-расчетчика, особенно в области анализа результатов.

На предприятиях СНГ наряду с ProCAST и Magmasoft наибольшее распространение получили российские пакеты — Полигон (www.focad.ru, разработчик в настоящее время — ООО «Фокад», Санкт-Петербург) и LVMFlow (www.mkmssoft.ru, на западном рынке называется NovaFlow, разработчик — ЗАО «НПО МКМ», Ижевск).

По мнению разработчиков, количество лицензий на Полигон в СНГ превышает число лицензий на все остальные литейные системы вместе взятые. За последние 10 лет было официально куплено более 50 промышленных лицензий на этот пакет. В последнее время ведется активная компания по внедрению этого пакета в учебный процесс большинства профильных вузов России и стран СНГ.

Особенностью пакета Полигон является то, что моделирование процессов образования усадочных дефектов — микропористости, макропористости и раковин решаются численными методами. При этом задачи прогноза прочности, твердости, структурных параметров отливки и т.п. решаются методами критериального анализа. Кроме того, интересной особенностью Полигона является возможность численного расчета распределения электрических потенциалов в затвердевающей отливке в условиях приложения электрического тока. Такая задача может возникнуть при некоторых способах литья лопаток.

Система Полигон позиционируется как альтернатива ProCAST, при значительно меньшей стоимости. Например, ориентировочная цена одной лицензии на ПОЛИГОН, со всеми модулями, без ограничения числа конечных элементов, с поддержкой 2-х ядерного процессора — порядка 1.200.000 российских рублей. При этом за пределами СНГ пакет практически не известен.

Пакет LVMFlow (ранее назывался LBM-3D) считается вторым по распространенности в СНГ и достаточно известным в мире (150 инсталляций в мире, 20 в СНГ). Самое главное достоинство LVMFlow заключается в модуле моделирования литья лопаток турбин. Вероятно, этот модуль один из лучших в отрасли (что косвенно подтверждается географией продаж). По остальным возможностям ближайшим аналогом ему может служить Magma.

Следует также отметить появление в СНГ еще одного «тяжелого» пакета FLOW-3D (США, www.flow3d.com). Отличительной особенностью FLOW-3D является мощный и быстрый гидродинамический решатель, который позволяет с высокой точностью моделировать течение металла в литейной форме и достоверно предсказывать помимо прочих дефекты литья,

образующиеся на этапе заливки металла в форму, например, спай, окисные пленки, засоры, газовые раковины и пористость от замешивания воздуха в жидкий расплав.

В дополнение к перечисленным, на Западе широко используются более «легкие» (работающие на упрощенных алгоритмах) и, соответственно, более дешевые пакеты для быстрого моделирования литья. В качестве примера можно привести американский SolidCast (Finite Solutions, более 430 инсталляций в 40 стран мира, ранее назывался AFSolid), немецкий WinCast (www.simtec-inc.com, ранее называлась Simtec) или финский CastCAE. Эти пакеты в СНГ официально используются относительно редко.

Для оценки точности расчета, обеспечиваемого «легким» пакетом SolidCast, были отлиты шары Ø100 мм из чугуна разного химического состава. Для выявления усадочных дефектов шары разрезались пополам и протравливались 4%-м раствором HNO_3 . Параллельно проводился расчет процесса литья, в частности, образования усадочной раковины. На рисунке 2 показаны геометрическая модель отливки и разрезы шаров с фактическими и смоделированными (показаны утолщенными линиями) усадочными раковинами. Эксперимент показал качественное и, в какой-то мере, количественное совпадение с результатами расчета. В частности, при моделировании изменяемые входные параметры дают одинаковое с экспериментом изменение размеров усадочных раковин.

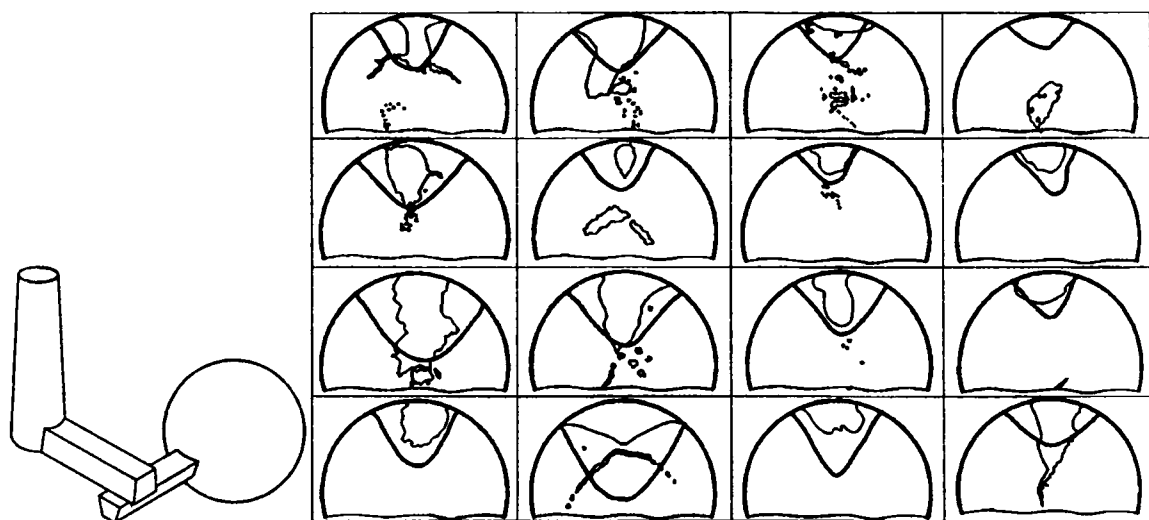


Рис. 2. Сравнение результатов компьютерного моделирования и фактически наблюдаемая усадочная раковина

ЛИТЕРАТУРА

1. Вольнов, И.Н. Компьютерное моделирование литейных процессов при производстве ТПА // Трубопроводная арматура и оборудование. – 2008. – №5(38). – С. 17...21.
2. Вольнов И. Н. Моделирование литейных процессов — современные вычислительные технологии // Литейщик России. — 2007. — № 11. — С. 27–30.
3. Вольнов И. Н. Системы автоматизированного моделирования литейных процессов — состояние, проблемы, перспективы // Литейщик России. — 2007. — № 6. — С. 14–17.
4. Тихомиров М.Д. Сравнительный обзор наиболее известных систем компьютерного моделирования литейных процессов // Материалы научно-практического семинара «Новые подходы к подготовке производства в современной литейной промышленности». 17-19 мая 2004 г. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2004. – 118 с.

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ МОЗГОВЫМИ ВОЛНАМИ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Одной из важнейших задач, стоящих перед современной биоинформатикой, является разработка интеллектуальных систем, способных анализировать биоэлектрические сигналы, генерируемые человеческим организмом, с целью их использования для управления различными объектами [1–4]. Разработки интеллектуальных систем в области управления объектом на основе биоэлектрических сигналов направлены главным образом на улучшение жизни людей, лишенных способности нормального существования, в частности, инвалиды. Однако разработка технологии передачи мысли на расстояние может найти разнообразные применения, такие как:

- осуществлять эффективное обучение студентов или переучивание, в особенности, чиновников, когда другие способы не востребованы;
- осуществлять чтение мыслей у чиновников-коррупционеров;
- в комбинации с методами чтения мыслей у согласных на это людей (магистров, аспирантов, докторантов, профессоров) способствовать лучшему пониманию функций и тайн мозга человека;
- обеспечение связи с людьми, уворованных террористами, погребенными под руинами после взрывов, землетрясений и других чрезвычайных ситуаций;
- для незаметной передачи информации охраняемому субъекту. Студенты будут использовать для успешной сдачи экзаменов;
- интеллектуальная поддержка чиновников власти на их публичных выступлениях и пресс-конференциях;
- упорядоченное поведение массы людей при чрезвычайных ситуациях, например, посылая предупреждения о надвигающихся катастрофах;
- профилактика и лечение некоторых патологических недостатков в головном мозге и снятие стрессовых ситуаций;
- интеллектуальное управление бытовой и специальной техникой, а также множество различных применений благодаря творчеству умных людей.

Проблема управления объектами мозговыми волнами касается прежде всего процессов бесконтактного взаимодействия с управляемым объектом и в настоящее время находит решение в совершенствовании автоматизированных и интеллектуальных алгоритмах управления. Исключительно новым развивающимся направлением являются исследования в области нейрокомпьютерных систем, которые доказали, что возможно управление объектами на основе синхронной нейронной взаимосвязи, представленной в виде осцилляторной мозговой активности [5]. Появление указанных интеллектуальных методов контролирования происходящими событиями может рассматриваться в двух фундаментально различных методах управления:

- в первом случае концентрация внимания на определенном объекте приводит к контролю мозговой активности человеком, вследствие чего в головном мозге возникают определенные возбуждения, которые вызваны главным образом нашим восприятием и обработкой мыслительной команды. Подобные явления происходят перед выполнением определенного действия мышцами тела и выражаются в виде потенциалов, связанных с событием. Наглядным примером указанного типа взаимодействия служит составляющая электроэнцефалограммы (ЭЭГ) P300, которая возникает с задержкой 300 мс и находится в диапазоне 2–5 Гц;
- во втором случае концентрация человека на специфических мозговых командах приводит к возникновению различных типов мозговых сигналов, которые затем распознаются

при помощи определенных алгоритмов декодирования для последующего управления мозговыми волнами.

Второй метод управления связан главным образом с реализацией нейрокомпьютерных интерфейсов управления объектами (рис. 1). Суть указанного взаимодействия заключается в исследовании осцилляторной мозговой активности, которая подразделяется на пять частотных диапазонов. Среди всех возможных частотных составляющих ЭЭГ особый интерес представляет прежде всего мю-ритм с частотой около 8-12 Гц и высокочастотный бета-ритм на частотах 18-26 Гц, которые локализованы над сенсорномоторным кортексом в головном мозге соответствующей части тела. Эти виды осцилляций отвечают за выполнение человеком мозговых команд при воображаемом движении какой-либо части тела, что проявляется в резких амплитудных возрастаниях и убываниях в указанных частотных диапазонах. Поэтому этап управления объектами связан с процессами синхронизации и диссинхронизации над сенсорномоторной областью и зависит от выполняемого движения.



Рис. 1. Нейрокомпьютерный интерфейс управления кистью человека

Для регистрации постсинаптических сигналов головного мозга с помощью ЭЭГ широко используются различные методы анализа как амплитудный, авторегрессионный, кросс-спектральный, автокорреляционный, когерентный, корреляционный, кросскорреляционный, регрессионный, периодометрический, спектральный, вейвлет-анализ, пространственная локализация источников патологической активности, а также теорию динамического хаоса, теорию случайных процессов, построение фрактальной размерности, фазового портрета и функционального исходного разделения сигнала. Последний вид анализа приобретает все большее значение при обработке ЭЭГ, поскольку данный метод включает в себя преимущества анализа главных компонент, при использовании которого данные ЭЭГ проектируются на ортонормированный базис с наибольшей дисперсией, и независимого анализа данных, который позволяет выделить статистически независимые составляющие ЭЭГ. В результате образуются отдельные компоненты ЭЭГ, среди которых можно выделить функциональные составляющие и артефакты.

Исследование хаотической динамики находит также важное применение в исследовании электрической активности мозга для управления объектами мозговыми волнами. Это связано с тем, что несколько групп осцилляторов в головном мозге в пяти частотных каналах формируют огромное количество степеней свободы с огромной размерностью возможных состояний субструктур внутри головного мозга. Анализ хаотической динамики решается построением фазового портрета системы, который формирует для различных функциональных состояний человека соответствующее фазовое отображение на основе метода задержек.

Однако, несмотря на огромные преимущества указанных методов анализа для исследования биоэлектрических сигналов мозга при помощи ЭЭГ, точность распознавания мозговой

команды не всегда является достаточной для принятия решения о целесообразности использования того или иного алгоритма и метода декодирования функциональных состояний головного мозга. Поэтому большой эффективностью в управлении мозговыми волнами обладает использование ЭЭГ вместе с магнитоэнцефалограммой (МЭГ), обеспечивая этим самым лучшего качества распознавания из-за способности взаимного дополнения методов регистрации, а также широкому применению функциональной магниторезонансной томографии (ФМРТ) (рис. 2).

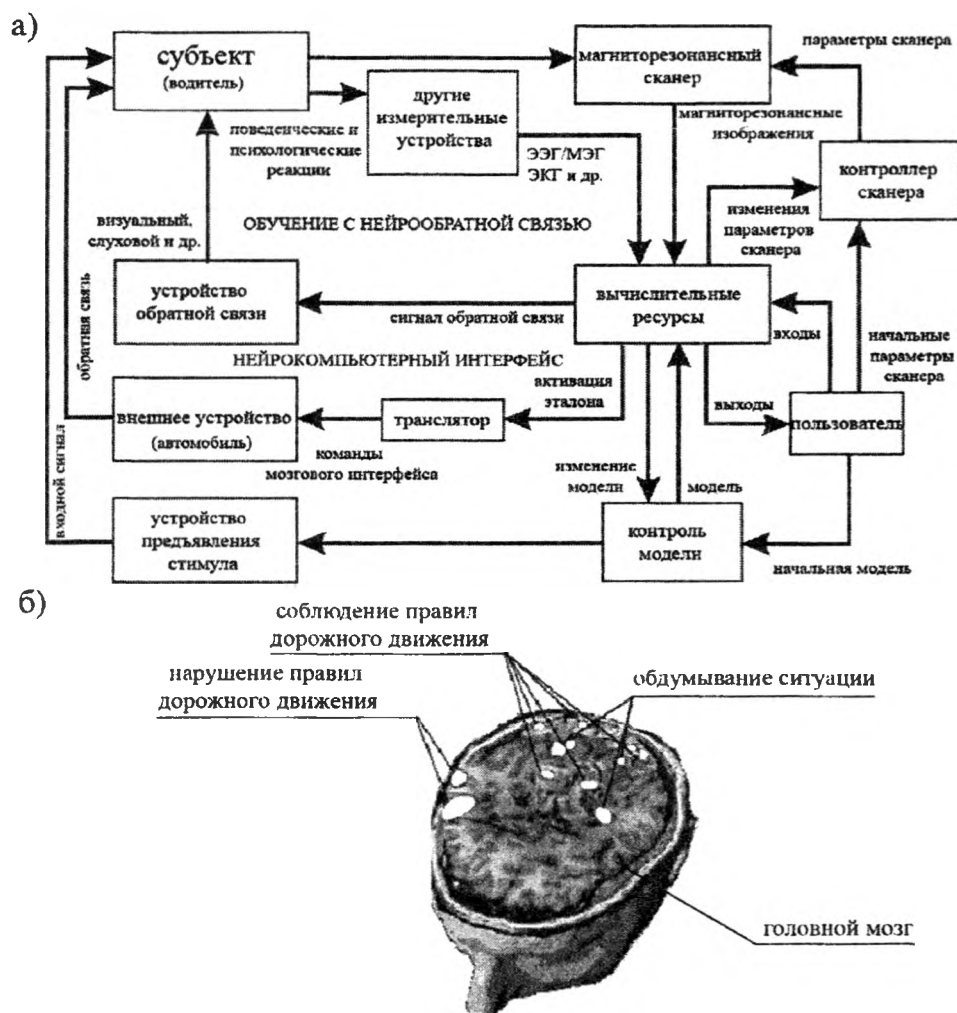


Рис. 2. Схема анализа электрической активности мозга ФМРТ в реальном времени при управлении транспортным средством (а), активность нейронов мозга при распознавании мозговых команд (б)

Основным критерием для оценки оптимальности используемого метода является точность декодирования функциональных состояний мозга. Среди множества алгоритмов распознавания в настоящее время широко используется синтез адаптивных, байесовских, гауссовских, вейвлет-классификаторов, а также обычных и осцилляторных нейронных сетей, нечеткой логики. Большой интерес сосредоточен на биспектральных методах анализа, точность распознавания двух мозговых команд которых составляет более 90% в отличие от остальных методов, где она не превышает 80% (табл. 1).

Технология биспектрального метода анализа основывается на существовании для негауссовского случайного процесса биспектра, который определяется как двумерное преобразование Фурье от математического ожидания процесса, умноженного на два различных варианта задержки сигнала. В том случае, если сигнал мозговой команды независим от гауссовских шумов, кумулянт которых равняется нулю, вычисленный биспектр зашумленного сигнала становится равным биспектру сигнала мозговой команды. Таким образом, цветные и белые шумы могут быть подавлены, а биспектр негауссовского сигнала легко вычисляется.

Таблица 1 – Распознавание мысленных движений правой и левой рук

Методы	Авторегрессионные характеристики		Биспектральные характеристики	
	Энтропия количества информации (бит)	Средняя ошибка распознавания мысли (%)	Энтропия количества информации (бит)	Средняя ошибка распознавания мысли (%)
нейронные сети	0.38	21	0.64	10
векторная вычислительная машина	0.25	18	0.63	9
линейный дискриминантный анализ	0.27	22	0.61	12

Для создания нейрокомпьютерных систем управления применяются различные технологии регистрации мозговой активности. В таблице 2 представлены методы для распознавания движений джойстиком правой рукой в одном из четырех направлений с использованием упорядоченного линейного дискриминантного анализа Фишера.

Таблица 2 – Сравнение методов регистрации для четырех мысленных задач

Метод	Пространственное и временное разрешение	Преимущества	Недостатки	Точность определения мысли
ЭЭГ	больше 1см, меньше 1мс	неинвазивность портативность дешевизна	не метод формирования изображения	56%
ЭКОГ	около 1 мм, меньше 1мс	дешевизна	инвазивность не метод формирования изображения	80%
МЭГ	около 5 мм, меньше 1мс	неинвазивность хорошие частотно-временные характеристики	дороговизна ограниченное разрешение	57%
ФМТР	около 3 мм, больше 1с	неинвазивность хорошее разрешение	дороговизна ограниченное время работы	63%
ЭЭГ и МЭГ	больше 1см для ЭЭГ около 5 мм для МЭГ меньше 1мс	неинвазивность хорошие частотно-временные характеристики	дороговизна ограниченное разрешение	60%

Поскольку техника измерения локального мозгового кровотока хороша для оценки тонических изменений или характеристики фоновой мозговой активности и малоприспособна для изучения ее динамики, то основное внимание исследователей сосредотачивается в области изучения синтеза ЭЭГ и МЭГ.

Один из главных недостатков всех нейрокомпьютерных систем управления заключается в создании интеллектуальных систем управления, работающих без предварительного обучения, точность работы которых зависит от количества исходной информации. Поэтому для решения указанной проблемы требуется углубленное изучение функциональности работы мозга. Другая проблема состоит в том, что нейрокомпьютерные системы работают только в синхронном режиме, когда система определяет действия пользователя. Возможным выходом из данной ситуации является применение асинхронных нейрокомпьютерных систем. Подобные системы могут определять автоматически намерение пользователя выполнить определенную мозговую коман-

ду, и представляют собой реальную картину работы мозгового интерфейса. Кроме того, современные представления о технологии передачи мыслей нацелены на то, чтобы обеспечить бесконтактную запись и передачу электрической активности мозга (рис. 3) [6,7]. Для решения подобной проблемы в настоящее время разработан новый класс беспроводных сенсорных микро-наносистем и сетей на поверхностных акустических волнах (ПАВ) с радиочастотной идентификацией (RFID) [6,7]. ПАВ сенсорная микро-наносистема состоит из антенны и ПАВ сенсора, функционирующего как линия задержки, либо как ПАВ резонатор, и электрической схемы обработки сигналов от ПАВ сенсора и передачи информации на антенну. Измерения «слышимости» микроволн показывают, что наиболее пригодными для модуляции сигналов в частоты носителя являются частоты в диапазоне 1 Гц - 100 ГГц. Микроволны в этом диапазоне частот распространяются линейно, их можно сфокусировать, они проникают сквозь воздух и стены зданий и индуцируют токи во внутренних слоях тела человека. Для эффективной передачи носители частот должны совпадать с резонансными частотами частей тела, например, определенных нервных клеток мозга.

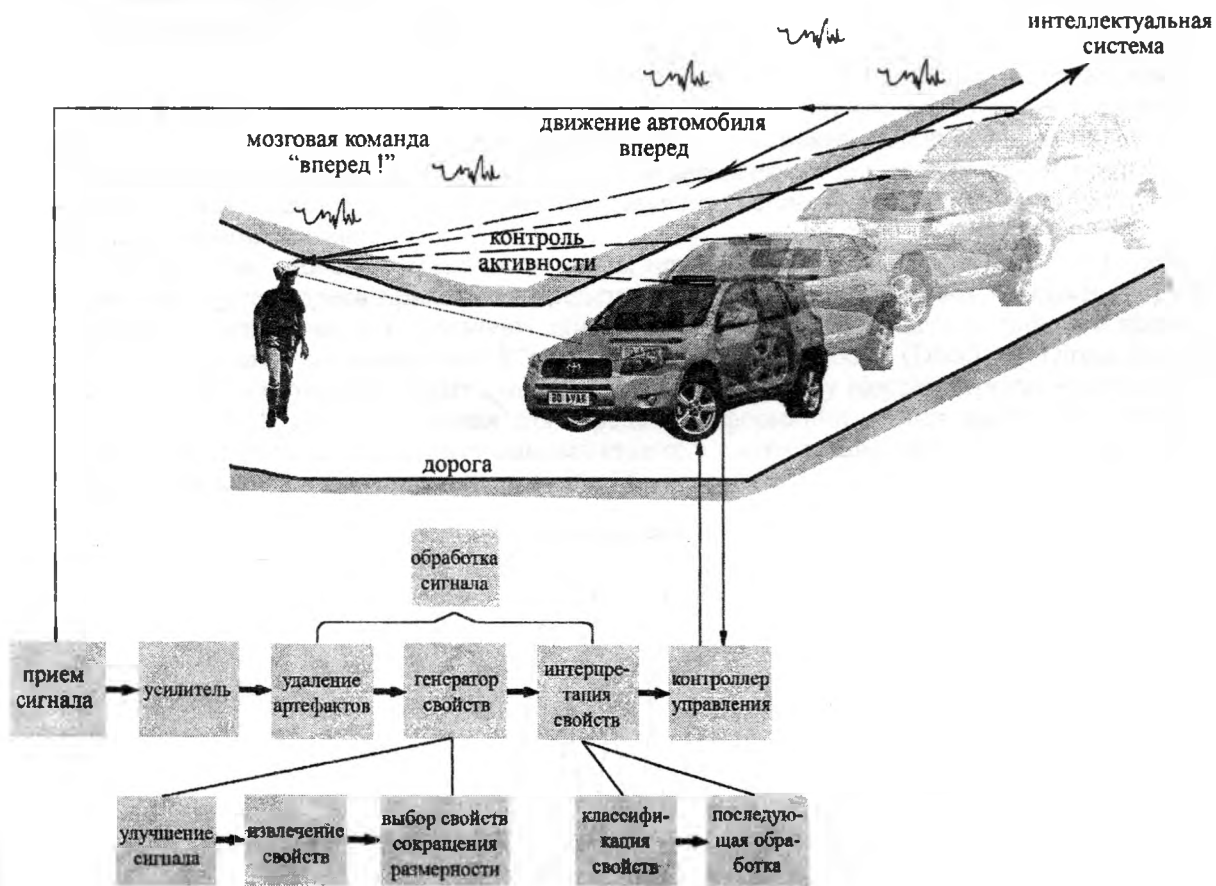


Рис. 3. Управление объектами на расстоянии с помощью мозговых команд

Можно ожидать, что технология передачи мысли будет играть все более возрастающую роль в исследованиях мозга, в управлении техническими приборами, машинами, аппаратами, а также в лечении болезней и для анализа биохимических сетей в мозгу. На этом пути технология передачи мысли и ее оптимизационные процессы обработки станут не только важным средством нейрокоммуникации, но и новым полезным инструментом в различных научных направлениях для познания тайн мозга человека. Однако следует сказать, что на сегодняшний день нет достаточно достоверных методов регистрации функциональных состояний нейронов головного мозга и математических приемов декодирования мозговых волн, что является нашей дальнейшей задачей в развитии интеллекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Koleshko V. M. Acoustic – electronic phenomenon of a brain and principles of designing of machines and mechanisms // Col “The congress on theoretical and applied mechanics”. – Minsk, 1996. – P 47 – 49. 2. Koleshko V. M. Acoustic – electronic phenomenon and electric activity of a brain of the person // International seminar “Transfer processes in biomedical problems”. – Minsk, 1995. – P 17 – 19. 3. Колешко В.М., Апанасевич А.В. Моделирование мозговых волн и управление объектами // Proceedings of the International Conference “Advanced Information and Telemedicine Technologies for Health”. – November 8 – 10, 2005, Minsk, Belarus, Academy of Science of Belarus, 2005. – P. 228 – 232. 4. Колешко В.М., Снигирев С.А. Модель системы управления объектом на основе биоэлектрических сигналов человека // Материалы научно-практической конференции “Научная мысль информационного века”. – Киев, 2007, т. Н. – С. 35 – 38. 5. Колешко В.М., Снигирев С.А. Нейрокомпьютерный интерфейс управления машиной силой мысли [электронный ресурс] // Режим доступа: www.rusnauka.com, свободный, яз. – рус., 2007. 6. Колешко В.М., Польшкова Е.В. Сенсорные микро-наносистемы с RFID идентификацией. – Сб. IV НПК “Нанотехнологии – производству 2007”, г. Фрязино РФ, 28 – 30 ноября 2007. – С. 97-100. 7. Колешко В.М., Польшкова Е.В., Паутинно А.А. Сенсорные микросистемы с RFID идентификацией // Теоретическая и прикладная механика, вып. 22. – Мн., 2005. – С. 51-62.

УДК 681.586: 621.316.1

Колешко В.М., Сунка В.Я., Качан В.В.

ШИРОКОПОЛОСНЫЕ БЕСПРОВОДНЫЕ СЕТИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СЕНСОРНЫХ СИСТЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Развитие интеллектуальных сенсоров достигло такого уровня, когда информации для передачи стало настолько много, а потребность в ее скорейшей передаче для обработки стала такой большой, что необходимо создавать локальные высокоскоростные сети для передачи измерительной информации.

Основные виды современного сетевого взаимодействия следующие[1]:

- Сенсор имеет одностороннюю связь с пользователем и использует ее для передачи своей информации.
- Сенсор имеет двустороннюю связь с пользователем и необходимую регулировку измерительного устройства выполняет пользователь.
- Микроконтроллер сенсора выполняет обработку информации о состоянии последнего и корректирует это состояние. Связь с пользователем используется для передачи полученной информации и получения от пользователя инструкций, изменяющих программу работы микроконтроллера.
- Сенсор часть необходимых вычислений проводит у себя, передает заявку на более сложные вычисления пользователю и использует их для выполнения собственных вычислений.
- Для улучшения своих действий или надежности функционирования сенсор имеет право взаимодействовать с произвольной группой пользователей сети. При этом, сенсор может объединяться с исполнительным устройством, корректирующим поведение сенсора во внешней среде. Сенсор принимает решения по учету получаемых через сеть сведений о состоянии других сенсоров.

Существует несколько способов технической организации сети, т.е. по сути тех протоколов и оборудования, посредством которого сенсоры внутри локальной сети будут посылать данные. Распространенные способы: организация проводной сети (например, посредством витой пары.); организация беспроводной сети (к примеру, посредством технологий Wi-Fi, WiMAX). Каждая из этих технологий походит под определенные задачи. Выбор технологии

зависит от задач локальной сети, ее нагрузки, финансовых возможностей организации и необходимости объединения «мобильных» сенсоров.

Организация сети при помощи витой пары — самый распространенный и недорогой способ. Несмотря на то, что скорость в такой сети не запредельна, она вполне пригодна для целого ряда практических задач. Все сенсоры жестко привязаны к своему местоположению. Разумный выход в ситуациях, когда необходимо совмещение стационарных и мобильных сенсоров — комбинация классической проводной сети с использованием технологий беспроводного доступа, когда все стационарные сенсоры подключены к удобно расположенным сетевым кабелям, а «мобильные» сенсоры пользуются технологией беспроводной передачи данных и свободно располагаются в пространстве.

Доля оборудования для радиоканалов по оценкам специалистов на рынке будет только увеличиваться. В охранных сигнализациях и системах пожарной безопасности, к которым предъявляются повышенные требования надежности, активно используется радиоканал, т.е. беспроводная сеть.

Существует ряд требований для передачи информации внутри сети интеллектуальных сенсорных систем [2]. Во-первых, организованная по топологии «точка-многоточие» сеть должна быть широкополосной. Во-вторых, должна осуществляться возможность передачи информации на дальние расстояния. Удобнее всего передавать информацию посредством сети Интернет. В-третьих, информация должна быть защищена от утечек, должна обеспечиваться ее достоверность и надежность передачи. Так же необходим гибкий выбор ширины полосы канала, т.к. измерительная информация передается с перерывами, и логично было бы повторно использовать канал — как способ увеличить пропускаемую способность и тем самым сделать передачу информации дешевле.

Рассмотрим способы передачи сигналов, применяемые в новых беспроводных сетях. В большинстве случаев здесь применяют средства связи, которые работают на нижней границе гигагерцевого диапазона, и используют широкую полосу частот. Распространение получили два метода передачи сигналов: метод прямой последовательности (DSSS — Direct Sequence Spread Spectrum) и метод частотных скачков (FHSS — Frequency Hopping Spread Spectrum).

Метод DSSS. Вся выделенная для передачи информации полоса частот разбивается на подканалы. Источник каждому биту данных ставит в соответствие набор битов, и эти наборы передаются параллельно по подканалам (рис. 1).

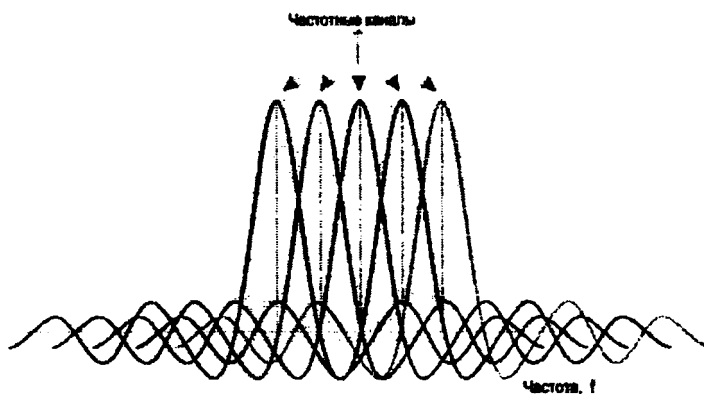


Рис. 1. Пример перекрывающихся частотных каналов с ортогональными несущими.

В приемнике закодирован способ создания наборов источником и определение значения закодированного набором бита. Другие источники работают в той же полосе частот, но применяются другие способы формирования наборов. Это позволяет приемникам воспринимать работу посторонних для него источников как шум, который не коррелирован с принимаемым набором сигналов и может быть отсеян. В каждом подканале источник передает слабый сигнал, и т.о. передача помехозащищена и скрытна.

Метод FHSS. Полоса частот разбивается на подканалы, которых больше, чем в *методе DSSS*. В пределах одного кванта времени передатчик работает только в одном подканале, но по закодированному правилу "перескакивает" с подканала на подканал в процессе сеанса связи. В приемнике определена последовательность переходов. Возможны конфликты при занятии подканала несколькими источниками одновременно. Поэтому в приемнике заложено правило подтверждения правильности приема. При помехе источник переходит на другой подканал. Таким

образом, в данном методе используется передача информации узкополосная, и используются сигналы, значительно более мощные, чем в методе DSSS. В разных практических приложениях предпочтение отдается *методу DSSS* или *методу FHSS*.

Широкополосные сигналы в диапазоне 2... 11 ГГц используются в сетях, основанных на семействе стандартов IEEE 802.11 [3]. Эти стандарты ориентированы на создание беспроводных локальных сетей (wireless local area networks - WLAN, Wi-Fi). Устройства по стандарту 802.11 требуют, по крайней мере, полосы 20 MHz для каждого канала (22 МГц в диапазоне частот 2,4 ГГц для IEEE 802.11b) и оперируют только в полосах частот 2,4 ГГц и 5 ГГц. Механизм управления доступом к среде базируется на протоколах CSMA/CA и CSMA/CD. Аналогично проводной сети Ethernet увеличение числа одновременно работающих пользователей влечет экспоненциальное уменьшение эффективной полосы пропускания.

Другой класс сетей, работающих в гигагерцевом диапазоне — это беспроводные персональные локальные сети (wireless personal area networks — WPAN). Для таких сетей разрабатываются стандарты группы IEEE 802.15. Сюда, например, относятся широко распространенные сети Bluetooth (IEEE 802.15.1) для объединения устройств разнесенных на несколько метров. В группе стандартов IEEE 802.15 разрабатывается стандарт IEEE 802.15.4, который предусматривает использование широкополосных высокочастотных сигналов для передачи данных со скоростью до 200 кбит/с и предназначен для сетей сенсоров, средств автоматики и т.д. [4]

На базе стандарта IEEE 802.15.4 разработан высокоуровневый сетевой протокол ZigBee. Он ориентирован на работу со средствами телемеханики и средствами управления. На двух нижних уровнях ZigBee совпадает со стандартом IEEE 802.15.4. Протокол ZigBee допускает работу на расстоянии до 70 м, но возможна и релейная передача.

Стандартизации интерфейсов для беспроводной связи с сенсорами посвящен стандарт IEEE 1451.5. Он определяет взаимодействие приемопередатчика сенсора с оборудованием, удаленным на расстояние до 1 км.

Широкополосные сигналы применены также в сетях стандарта IEEE 802.16. Хотя этот стандарт ориентирован на сети городского масштаба (wireless metropolitan access network — WMAN, WiMAX), он решает также задачу "последней мили", т. е. обеспечивает беспроводное подключение конечных пользователей к концентраторам следующего уровня иерархии [4,5].

Работа нового беспроводного стандарта широкополосной связи (2001 г.) по первой версии стандарта IEEE 802.16-2001 предусматривала рабочую полосу частоты 10-66 ГГц, и организацию связи в пределах прямой видимости дальностью до 5 км. Данный стандарт описывал организацию широкополосной беспроводной связи с топологией «точка-многоточие» и был ориентирован на создание стационарных беспроводных сетей масштаба мегаполиса (Metropolitan Area Network, MAN). Именно поэтому данный стандарт получил также название WirelessMAN. На физическом уровне стандарт IEEE 802.16-2001 предполагал использование всего одной несущей частоты (Single-Carrier, SC), вследствие чего получил название WirelessMAN-SC [4].

Работа по прямой видимости приемника и передатчика позволила избежать одной из главных проблем радиосвязи — многолучевого распространения сигнала. Ширина каналов связи достаточно большая, 25 или 28 МГц, что позволяет достигать высокой (порядка 120 Мбит/с) скорости передачи данных.

Из-за очевидных недостатков беспроводных сетей, работающих по прямой видимости, (стандарт 802.16), они не получили широкого распространения, и был принят расширенный вариант стандарта IEEE 802.16, получивший наименование 802.16a-2003. В нем предусмотрено использование частотного диапазона от 2 до 11 ГГц. Данный стандарт стал альтернативой традиционным решениям широкополосного доступа для последней мили — кабельным модемам, xDSL и каналам T1/E1. Беспроводные сети стандарта 802.16a планируется применять как дополнительную технологию для соединения устройств стандарта IEEE 802.11b/g/a к Интернету. Однако использование частотного диапазона 2-11 ГГц (IEEE 802.16a) потребовало пересмотра техники кодирования и модуляции сигнала на физическом уровне.

Логическим продолжением стандарта IEEE 802.16a стал стандарт IEEE 802.16d, который предусматривал возможность реализации фиксированного доступа внутри помещений, а окончательно принятый стандарт IEEE 802.16d и его окончательная версия вобрала в себя и стандарт IEEE 802.16d, и 802.16a.

На стадии завершения находится стандарт IEEE 802.16e, рассматривающий вопросы роуминга взаимного перехода между сетями беспроводных стандартов IEEE 802.11 и 802.16. Сегодня пользователи беспроводных сетей стандарта IEEE 802.11 работают, только находясь на территории хотспота (зоны доступа). С помощью технологии IEEE 802.16e пользователи получают возможность оптимального соединения: посредством IEEE 802.11 — находясь в пределах спота, а посредством IEEE 802.16 — находясь в зоне действия городской сети WMAN.

Особенность стандарта IEEE 802.16a/d - возможность работы в условиях не прямой видимости. Это достигается за счет использования технологии ортогонального частотного разделения каналов с мультиплексированием (Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), которая позволяет эффективно бороться с многолучевой интерференцией сигналов (рис. 2).

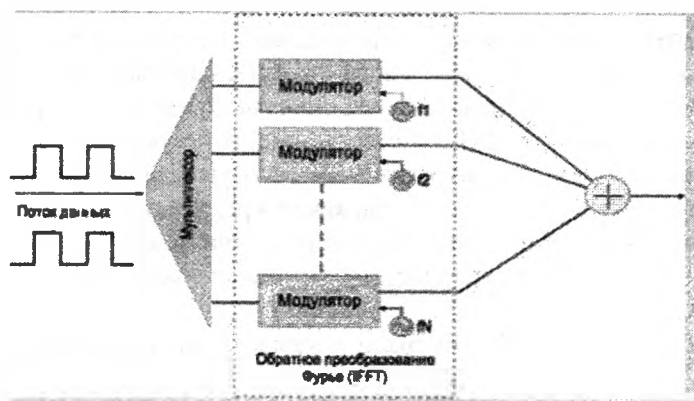


Рис. 2. Реализация метода OFDM

Эффект многолучевой интерференции сигналов заключается в многократном отражении сигнала от естественных преград.

Следствием многолучевой интерференции является искажение принимаемого сигнала. При многолучевой интерференции, возникающей при передаче сигналов, различают два крайних случая. В первом из них максимальная задержка между различными сигналами не превышает времени длительности одного символа и интерференция возникает в пределах одного передаваемого символа. Во втором случае максимальная задержка между различными сигналами больше длительности одного символа, а в результате интерференции складываются сигналы, представляющие разные символы, и возникает так называемая межсимвольная интерференция (Inter Symbol Interference, ISI).

Наиболее отрицательно на искажение сигнала влияет межсимвольная интерференция. Для различных символов меняются амплитуда и фаза сигнала, а значит, восстановить исходный сигнал крайне сложно. Чтобы частично компенсировать эффект многолучевого распространения, используются частотные эквалайзеры и применяется метод кодирования данных, который состоит в том, что поток передаваемых данных распределяется по множеству частотных подканалов и передача ведется параллельно на всех этих подканалах. При этом высокая скорость передачи достигается именно за счет одновременной передачи данных по всем каналам, а скорость передачи в отдельном подканале вполне может быть низкой.

При частотном разделении каналов необходимо, чтобы ширина отдельного канала была, с одной стороны, достаточно узкой для минимизации искажения сигнала в пределах отдельного канала, а с другой — достаточно широкой для обеспечения требуемой скорости передачи. Для экономного использования всей полосы канала желательно как можно более плотно расположить частотные подканалы, избежав при этом межканальной интерференции, чтобы обеспечить полную независимость каналов друг от друга. Частотные каналы, удовлетворяющие перечисленным требованиям, называются ортогональными. Несущие сигналы всех частотных подканалов (а точнее, функции, описывающие эти сигналы) ортогональны друг другу. Важно, что хотя сами частотные подканалы могут частично перекрывать друг друга, ортогональность не-

сущих сигналов гарантирует частотную независимость каналов друг от друга, а значит, и отсутствие межканальной интерференции.

Рассмотренный способ деления широкополосного канала на ортогональные частотные подканалы называется ортогональным частотным разделением с мультиплексированием (OFDM). Для его реализации в передающих устройствах используется обратное быстрое преобразование Фурье (IFFT), переводящее предварительно мультиплексированный сигнал на N каналов из временного представления в частотное. Каждый отсчет IFFT представляет собой поднесущую, которая подвергается фазовой (BPSK, QPSK) или квадратурно-амплитудной (QAM16 или QAM64) модуляции, что позволяет повысить информационную скорость передачи данных. Группа поднесущих частот, которая в данный момент переносит битовые потоки, называется символом OFDM.

В протоколе IEEE 802.11g также используется технология OFDM, однако в протоколе IEEE 802.16 предусмотрено более гибкое распределение полосы частот, используемых для передач данных. Причем это можно сделать как за счет уменьшения количества поднесущих, так и с помощью их сужения. Минимальная ширина сигнала, предусмотренная стандартом, составляет 1,25 МГц, а максимальная - 20 МГц. Естественно, что с уменьшением частотного ресурса скорость передачи уменьшается, но сама эта возможность позволяет использовать частотный спектр отдельными фрагментами, а не целиком, как это реализовано в протоколе IEEE 802.11g.

Для повышения помехоустойчивости при передаче данных в протоколе 802.16 предусмотрены сверточное кодирование с декодированием по алгоритму Витерби, коды Рида-Соломона.

В итоге в стандарте IEEE 802.16a были выделены три типа физического уровня соединений, различающихся методом модуляции сигнала:

- WirelessMAN-SC — физический уровень с одной несущей частотой;
- WirelessMAN-OFDM — ортогональное частотное разделение на 256 каналов с мультиплексированием. Реализация множественного доступа к среде передачи данных происходит за счет технологии временного разделения (Time Division Multiple Access, TDMA);
- WirelessMAN-OFDMA — ортогональное масштабируемое частотное разделение каналов с мультиплексированием. Используется разделение на 2048 поднесущих частоты. Коллективный доступ к среде передачи данных реализуется за счет объединения нескольких поднесущих частот в один канал передачи и его выделения конкретному получателю (OFD Multiple Access, OFDMA).

Физический уровень WirelessMAN-SC предназначен для применения в зоне прямой видимости передатчика и приемника. Два других уровня, основанные на ортогональном частотном разделении каналов, используются для построения сетей по топологии «точка-многоточие» в условиях отсутствия прямой видимости. Из двух OFDM-уровней уровень WirelessMAN-OFDM несколько проще для реализации с технической точки зрения и потому более перспективен для реализации.

В случае ортогонального частотного разделения на 256 каналов с мультиплексированием (WirelessMAN-OFDM) используется 256 отсчетов IFFT, из которых 192 поднесущие являются информационными, то есть применяются для передачи данных, 8 поднесущих предназначены для измерения характеристик канала связи и используются для передачи пилотных символов (pilot symbols), а остальные 56 поднесущих частот могут применяться для организации защитных интервалов, длительность которых составляет 1/4, 1/8, 1/16 или 1/32 длительности OFDM-сигнала. Ширина канала связи может быть различной и изменяется от 1,25 до 20 МГц. Ортогональное частотное разделение типа WirelessMAN-OFDMA представляет собой масштабируемое разделение каналов, и количество поднесущих не фиксировано и может составлять 512, 1024 и 2048. В зависимости от количества поднесущих меняется и ширина канала, и количество подканалов.

Особенность стандарта IEEE 802.16 - его адаптивность к внешним помеховым условиям. Система подстраивается к характеристикам канала в каждый момент времени. Например, в идеальном по энергетике канале все поднесущие OFDM будут работать с модуляцией QAM64 и скоростью сверточного кодирования 3/4, обеспечивая максимальную скорость передачи 74,81 Мбит/с. В наихудших условиях передачи используется QPSK-модуляция для всех поднесущих

и сверточное кодирование со скоростью 1/2. При этом скорость передачи составляет 1,04 Мбит/с. Протоколом предусмотрено семь различных комбинаций типов модуляции и скорости сверточного кодирования, что обеспечивает требуемую помехоустойчивость протокола и большое разнообразие возможных скоростей передачи.

Существенным отличием стандарта IEEE 802.16 от 802.11 является возможность использования протокола с разрешением конфликтов. Устройства стандарта IEEE 802.11 работают по принципам Ethernet: все они имеют равные права на доступ к радиотракту, что приводит к конфликтам и повторной попытке захвата радиоканала через случайное время. В сетях стандарта IEEE 802.16 имеется выделенное устройство — базовая станция оператора, которая разделяет своим подчиненным права доступа к радио-среде, обеспечивая более эффективное использование радиочастотного ресурса и эффективную передачу данных.

Базовые станции (Base Station, BS), как правило, применяют мультиплексирование с разделением по времени (TDM), при котором каждой абонентской станции (Subscriber Station, SS) последовательно выделяются временные слоты. Абоненты же разделяют общий канал посредством схемы множественного доступа с разделением по времени (Time Division Multiple Access, TDMA).

Для реализации режима обмена данными используются: дуплексный режим с разделением по времени (TDD) нисходящего (DownLink) и восходящего (UpLink) потоков (при этом задействуется общий канал связи) и дуплексный режим с разделением по частотам (FDD), когда нисходящий и восходящий потоки оперируют на разных каналах и обмен данными может выполняться одновременно. В таблице 1 приведены сравнительные параметры устройств выполненных по рассматриваемым стандартам.

Таблица 1 – Краткие характеристики семейства стандартов IEEE 802.16

Название стандарта	802.16	802.16a	802.16e
Частотный диапазон	10-66 ГГц	2-11 ГГц	2-6 ГГц
Быстродействие	32-135 Мбит/с для 28МГц-канала	до 75 Мбит/с для 28МГц-канала	до 15 Мбит/с для 5МГц-канала
Модуляция	QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256, QPSK, 16QAM, 64QAM	OFDM 256, QPSK, 16QAM, 64QAM
Ширина канала	20, 25 и 28 МГц	Регулируемая 1,5-20МГц	Регулируемая 1,5-20МГц
Радиус действия	2-5 км	7-10 км, макс. радиус 50 км	2-5 км
Условия работы	Прямая видимость	Работа на отражениях	Работа на отражениях

Стандарт IEEE 802.16 обладает множеством преимуществ, в тоже время последние стандарты IEEE 802.16a/d/e предоставляют очень широкие возможности для создания беспроводных сетей интеллектуальных измерительных сенсорных систем и передачи измерительной информации от них к месту назначения посредством сети Интернет с высокой скоростью и надежностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стецюра Г. Г. Сети интеллектуальных датчиков и исполнительных устройств // Датчики и системы. – 2005. – №11. – С. 69-76.
2. Деслинг Й., Линдгрэн П. Технология связи датчиков для создания окружающего интеллекта // Датчики и системы. – 2005. – №12. – С. 63-72.
3. <http://standards.ieee.org/getieee802/portfolio.html> - стандарты IEEE 802.11-802.16 от 23.12.2008.
4. Семенов Ю. А. Стандарт широкополосной беспроводной связи IEEE 802.16 // book.itep.ru.
5. <http://www.compress.ru/Article.aspx?id=9948> - стандарт 802.16 от 23.12.2008.

РЕФЕРАТЫ

УДК 621.01

Авсиевич А.М., Реут Л.Е., Николаев В.А., Адаменко Д.В. Алгоритмизация расчетов факторов износа кинематических пар рычажных механизмов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены факторы износа кинематических пар рычажных механизмов. Предложен способ оценки относительного пути трения для различных точек поверхности трибосопряжений. Приведена последовательность расчета контактных давлений, относительных скоростей скольжения для локальных участков поверхностей пары трения. – Ил. 3. Библиогр. 9.

УДК 621.01

Анципорович П.П., Авсиевич А.М., Кудин В.В. Анализ курсового проектирования по теории механизмов и машин у студентов специальностей «Техническая эксплуатация автомобилей» и «Автосервис» // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены принципы организации курсового проектирования по теории механизмов и машин для студентов автотракторного факультета в условиях сокращения объемов учебной нагрузки. Описана организация работы, позволяющая сохранить комплексный подход к исследованию машинного агрегата, возможность самостоятельного творческого решения инженерных задач, успешное освоение методик расчетов.

УДК 620.1

Якубовский А.Ч., Якубовский Ч.А. Графическое оформление задач по сопротивлению материалов с использованием программы КОМПАС-3D // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Изучены возможности программы КОМПАС-3D, используемой для трехмерного твердотельного проектирования. Рассмотрены задачи некоторых разделов курса «Сопротивление материалов» и необходимые для их решения графические построения. Установлено, что независимо от геометрии нагруженного тела при графическом оформлении задач курса эффективна программа КОМПАС-3D. — Ил. 6, Библиогр. 4.

УДК 621.01:531.8:681.3+004.92

Булова П.В., Астахов Э.И. Использование «AutoCAD» для определения передаточных функций рычажного механизма // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Показана методика расчета передаточных функций рычажного кривошипно-ползунного механизма методом планов аналогов скоростей в «AutoCAD». Приведено сравнение результатов расчета с аналитическим методом векторного контура. Хорошая сходимость результатов позволяет рекомендовать методику расчета в «AutoCAD» для курсового проектирования по теории механизмов и машин. – Ил. 2. Табл. 1. Библиогр. 3.

УДК 621.01

Анципорович П.П., Акулич В.К., Дубовская Е.М. Кинематика рычажных механизмов с входным поршнем // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

В статье рассматривается задача определения кинематических характеристик механизма с входным поршнем на шатуне, скользящим в качающемся или вращающемся цилиндре. Приводятся решения задачи методом замкнутого векторного контура и графоаналитическим методом планов скоростей и ускорений – Ил. 2. Библиогр. 1.

УДК 621.531.8 + 621.876

Гарах В.А., Астахов Э.И. *Определение реакций и анализ динамической нагруженности шарнирно-рычажного механизма ножничного подъемника // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Показана методика аналитического силового расчета шарнирно-рычажного механизма ножничного подъемника с определением реакций во всех шарнирах и уравнивающей движущей силы на поршне гидроцилиндра. Приведены результаты расчета реакций для варианта ножничного подъемника грузоподъемности 10000 Н.

УДК 621.01 + 531.3 + 621.876

Астахов Э.И., Гарах В.А. *Особенности структуры и кинематики рычажного механизма ножничного подъемника // Машиностроение. – Мн.: БНТУ. – Вып. 25.*

Показана структура десятизвенного шарнирно-рычажного антипараллелограммного механизма ножничного подъемника и определение его кинематических параметров (координат, скоростей и ускорений) по обобщенной координате U_B штока поршня гидроцилиндра.

Кудин В.В., Астахов Э.И., Кудин М.В. *Разработка метода оценки виброакустических полей рабочих площадок под установку машиностроительного оборудования // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Разработан эффективный метод оценки влияния виброакустических полей рабочих площадок на установленное машиностроительное оборудование. – Библиогр. 4.

УДК 621.833

Кане М.М., Медведев А.И., Иванов Б.В. *Анализ изменения шероховатости и микротвердости поверхностей зубьев цилиндрических шестерен при их химико-термической обработке // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Обоснован выбор способа и оборудования химико-термической обработки как объекта исследования (газовая нитроцементация в безмуфельном агрегате). Описана методика и приведены основные результаты экспериментального исследования, выполнен их анализ. – Ил.2. Библиогр.1.

УДК 621.793

Шелег В.К., Присевок А.Ф., Леванцевич М.А., Максимченко Н.Н. *Исследование структуры и работоспособности покрытий из порошковых материалов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Приведены результаты исследования структуры и работоспособности покрытий, полученных из порошковых материалов методом плакирования гибким инструментом. Показано, что снижения коэффициента трения скольжения в 3,0...3,3 раза и повышения нагрузочной способности поверхностного слоя в 2 раза можно добиться, используя двухслойные покрытия из последовательно нанесенных слоев меди М1, легированной ультрадисперсной алмазнографитной шихтой УДАГ, и баббита, легированного частицами графита. – Ил. 5. Библиогр. 5.

УДК 620.16

Беляев Г.Я., Ильясевич Е.Г. *Комплексный размерный анализ технологического процесса обработки фланца // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Целью работы является определение ожидаемой ошибки (эксцентриситетов), технологических и окончательных размеров проведением размерного анализа с использованием методов

теории графов. Этот метод облегчает определение промежуточных размеров, повышает точность расчетов, помогает определить правильность выбора технологии обработки.

УДК 620.16

Шумова Е.А. Размерный анализ техпроцесса изготовления детали сложной формы с учётом эксцентриситетов припусков // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Выполнен размерный анализ технологического процесса обработки детали сложной формы. Произведён расчёт допустимых радиальных биений цилиндрических поверхностей. – Ил. 3. Табл. 2. Библиограф. 4.

УДК 621.1: 679.8

Луговой В.П. Способ повышения точности геометрической формы поверхностей при ультразвуковой доводке // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрен способ повышения точности геометрической формы поверхностей при ультразвуковой обработке путем выбора оптимального положения деталей относительно звуковой волны, возбуждаемой в инструменте. – Ил. 4. Библиогр. 5.

УДК 621.923

Кривко Г.П. Технологические основы повышения ресурса подшипников качения. // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены особенности образования регулярного микрорельефа на сферической поверхности торцов роликовых подшипников.

УДК 621.9.048.6

Шелег В.К., Присевок А.Ф., Куптель В.Г. Управление параметрами точности и качества обрабатываемых поверхностей при вибрационном точении высокопластичных материалов // Машиностроение. – Мн., 2009. Вып. 25.

Рассмотрены вопросы обеспечения заданных параметров точности и качества обрабатываемых поверхностей при вибрационном точении деталей из высокопластичных материалов. Выполненные исследования показали, что посредством варьирования интенсивностью направленных колебаний создается возможность управления параметрами точности и качества. – Ил. 3. Библиогр. 3.

УДК 621.793.001.57:621.777.42

Харченко В.В., Мрочек Ж.А. Адгезия как физическое явление, обусловленное свойствами материалов и энергетическими характеристиками процесса формообразования покрытий // Машиностроение – Мн., 200.

Приведен один из вариантов модели механизма формообразования адгезии. Для разработки механизма использованы представления о модели молекулы, предполагающей взаимодействие всех электронов и ядер, входящих в нее атомов, как на стадии образования, так и дальнейшего существования. – Ил. 1. Библиогр. 5.

УДК 621.316.935: 678.026.345

Еженков Г.Г., Мишкина М.А., Опекунова Т.Э., Панков А.Б., Жук Г.В. Газопламенные антикоррозионные защитные покрытия заземляющих устройств электроэнергетики // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены причины интенсивного разрушения вертикальных заземлителей, предложены технологии (стационарная и мобильная) нанесения защитных коррозионностойких

покрытий из самофлюсующихся сплавов на основе никеля на разрушаемые поверхности вертикальных стержней в зоне перехода “земля-воздух”.

УДК 621.793

Адаменко Д.В., Соколов И.О. К вопросу об исследовании изнашивания материалов при фреттинг-коррозии // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

В работе рассмотрено влияние внешних факторов на интенсивность изнашивания материалов при фреттинг-коррозии. – Ил. 6, Библиогр. 11.

УДК 621.793

Максимченко Н.Н. Математическая модель процесса нанесения покрытий методом плакирования // Машиностроение: сб.

Получена математическая модель, позволяющая на стадии разработки технологического процесса определить режимные параметры метода плакирования гибким инструментом, обеспечивающие перенос композиционного материала покрытия на обрабатываемую поверхность, улучшение качественных характеристик сформированного покрытия и повышение эксплуатационных свойств узлов трения. – Ил. 2. Библиогр. 10.

УДК 621.793

Соколов И.О., Спиридонов Н.В., Володько А.С., Пилецкая Л.И. Оптимизация составов композиционных материалов для напыления покрытий на опорные поверхности тяжело нагруженных валов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Представлены результаты исследования влияния состава композиционных материалов на износостойкость и прочность сцепления полученных покрытий, и определены оптимальные составы с использованием методов планирования эксперимента. – Ил. 5, Табл. 4, Библиогр. 4.

УДК 621.793

Девойно О.Г., Кардаполова М.А., Яцкевич О.К. Формирование защитных керамических покрытий на основе оксидной керамики, модифицированной химико-термической обработкой // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Приведены результаты исследований физико-механических и эксплуатационных характеристик керамических оксидных покрытий после химико-термической обработки исходных материалов бором и молибденом. – Ил. 3. Табл. 3. Библиогр. 4.

УДК 621.793.1

Фролов И.С., Иващенко С.А., Мрочек Ж.А. Формирование остаточных напряжений в вакуумно-плазменных покрытиях на деталях из немагнитных материалов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрен процесс формирования остаточных напряжений в вакуумно-плазменных покрытиях на деталях из немагнитных материалов. Установлены закономерности формирования напряжений в покрытиях на различных этапах процесса. Предложены технологические приемы, позволяющие снизить уровень напряжений в покрытиях. – Ил. 5. Библиогр. 5.

УДК 621.825.5(088.8)

Николаев В.А., Апетенко П.А., Абу Сахьюн Вассим. Динамический анализ машинного агрегата с учетом коэффициента чувствительности предохранительной муфты // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Оценкой эффективности ограничения динамических нагрузок является коэффициент динамичности предохранительного устройства в режиме жесткого стопорения.

Задавая в качестве исходных данных различные угловые скорости вращения ведомого вала перед моментом резкого его стопорения, получаем зависимости изменения крутящего момента по времени.

УДК 621.1; 621,7

Зубко С.А. Критерий оценки характера разрушения материала при испытании на разрыв. // Машиностроение. - Мн., 2009 – Вып. 25.

В процессе испытания стального образца на усталость в вершине растущей трещины усталости в стальном образце методом голографической интерферометрии был установлен и показан скачкообразный характер роста трещины. При приложении нагрузки в вершине трещины локализовались упругие деформации материала в виде растущего «языка», пропорционального растущим напряжениям. По достижении определенной величины, в зоне локализации деформаций происходил разрыв материала в вершине трещины на зону локализации деформаций. Деформации в вершине трещины исчезали и, при дальнейшем возрастании нагрузки, появлялись снова в виде растущего «языка» деформаций и исчезали после нового разрыва материала в деформированной зоне.

Длина деформированной зоны в вершине трещины может быть мерой оценки характера разрушения материала и его свойств. – Ил.3. Библиогр. 3.

УДК 539.214

Дудяк А.И., Сахнович Т.А., Евдокимова В.С. Напряжения при плоском изгибе прямого стержня. // Машиностроение. - Мн., 2009 – Вып. 25.

Рассмотрены различия и методики расчета при изгибе консоли прямоугольного поперечного сечения распределённой нагрузкой в курсе «Сопротивление материалов» и курсе «Теория упругости материалов». – Ил.2

УДК 621.18.654

Апетёнок П.А., Абу Сахьюн Вассим, Николаев В.А. Применение ПК в проектировании и расчёте многозвенного механизма в приложении excel. // Машиностроение. - Мн., 2009 – Вып. 25.

Данная работа посвящена теме проектирования и расчёта многозвенного механизма с помощью ПК. Задача программы заключается в определении различных параметров механизма (кинематика, силовой расчёт) по заданным параметрам. В приложении Excel производится расчёт и отображение графической информации этого механизма, который может использоваться в различных областях машиностроения.

УДК 621.941

Ларченков Л.В., Протасеня М.Л., Протасеня И.О., Ларченкова Ю.В. Траектория метания структурного тела. // Машиностроение. - Мн., 2009 – Вып. 25.

В статье представлены теоретические исследования траектории движения центра массы структурного тела, выброшенного кольцевым метателем под углом к горизонту. Ил.4. Библиогр.5.

УДК 539.214

Дудяк А.И., Сахнович Т.А. Энергетический критерий прочности. // Машиностроение. - Мн., 2009 – Вып. 25.

Предложенный критерий прочности является критерием для определения предельных напряженных состояний. Для пластичных материалов он является условием пластичности, а для материалов неодинаково сопротивляющихся растяжению и сжатию является условием разрушения.

УДК 339.137.2

Плясунков А.В., Криволапова В.В. Анализ методов оценки конкурентоспособности предприятия // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып.25.

Рассмотрены различные методы определения конкурентоспособности предприятия. Проведён анализ их положительных и отрицательных сторон. Предложена уточнённая методика расчёта конкурентоспособности предприятия. – Ил.:1. Библиогр.8.

УДК 621.75.002:658

Лавренова О.А., Демянчик Д. В., Красавин Е. Н. Анализ путей сокращения затрат на создание и поддержку веб-сайта компании // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып.25.

Рассмотрены статьи затрат на создание, продвижение и поддержку веб-сайта компании. Предложены пути их эффективного снижения. – Ил. 1. Табл.3. Библиогр.6.

УДК 339.137.2

Плясунков А.В., Криволапова В.В. Апробация уточнённого метода оценки конкурентоспособности предприятия // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып.25.

Предложена усовершенствованная методика оценки конкурентоспособности предприятия. Проведён расчет конкурентоспособности ОАО «МПЗ» относительно ZKL. – Ил.2. Табл.5. Библиогр.2.

УДК 338.24 (075); 56К.65.2907

Акунец В.П., Ивашин Э.Я. Внутрифирменное планирование как система производственных нормативов // Мн.: *Машиностроение*. – 2009. – Вып. 25.

В основу внутрифирменного планирования и управления должна быть система производственных норм и нормативов, которые должны быть четко регламентированы по функциональным подсистемам управления. К функциональным подсистемам относятся подсистемы трудовых норм и нормативов, подсистема норм и нормативов средств труда, подсистема календарно-плановых нормативов и др. Наша задача заключается в системном анализе классификации и выработке рекомендации по практическому применению норм и нормативов управления.

УДК 658.14

Адаменкова С.И., Комина Н.В. Дебиторская и кредиторская задолженность по МСФО. Критерии признания // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып.25.

Рассмотрена дебиторская и кредиторская задолженность по МСФО с позиции принципа консерватизма. Определены методы их оценки.

УДК 339:004

Бутковская В.П. Классификация средств интернет-маркетинга // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып. 25. – с.2

Рассмотрены особенности рекламы в Интернет. Разработана классификация средств интернет-маркетинга. – Ил.1, Табл.1

УДК 621.941.088

Ивашин Э.Я., Ивашин В.Э. *О возможности обработки нежестких валов* // Мн.: Машиностроение. – 2009. – Вып. 25.

В связи с высокими требованиями к точности и качеству длинномерных деталей особое внимание в данной работе уделяется выбору оборудования и новым методам обработки нежестких валов.

УДК 005.932:33

Похабов В.И., Прокопенко Л.В. *Оптимизация логистической деятельности промышленного предприятия* // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Обоснована актуальность производственной логистики, рассмотрены особенности создания и оптимизации страховых запасов, выявлена экономическая выгода от применения трансфертных цен для продавца и покупателя. – Ил. 1. Библиогр. 6

УДК 001.895

Костюкевич Е.Н. *Особенности оценки рисков инновационных проектов* // Машиностроение. – Мн., 2008. – Вып. 24.

Рассмотрены особенности оценки рисков инновационных проектов. Предложены различные подходы к комплексной оценке рисков инновационных проектов на основе многофакторного анализа чувствительности проектов и количественных оценок вероятности риска. – Ил. 1. Библиогр. 7.

УДК 681.3.01:339.138

Лавренова О.А., Бачанцева Е.А. *Особенности рекламы в условиях кризиса* // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены типы рекламы и виды рекламных средств, проанализированы тенденции развития рекламного рынка. Выявлены перспективные рекламные носители и сектора рекламного рынка. – Ил. 2. Табл. 3. Библиогр. 7.

УДК 338.(075.2)

Костюкевич Е.Н. *Патентно-лицензионная деятельность как фактор инновационной активности предприятия* // Машиностроение. – Мн., 2009.

Рассмотрены особенности патентно-лицензионной деятельности как составной части инновационной деятельности предприятия. Предложен анализ разных методов оценки стоимости объектов интеллектуальной (промышленной) собственности на основе платежей на базе роялти и паушальных платежей. – Ил. 1. Библиогр. 3.

УДК 658.14

Комина Н.В. *Сравнительный анализ стандартов отчетности национальной системы учета и МСФО* // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Проведен сравнительный анализ стандартов отчетности национальной системы учета и МСФО. Выявлены причины, объясняющие эти различия.

УДК 669.071

Мойсейчик Е.А. *Изменения макроструктуры арматурных стержней при сварке* // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Показано, что первоначальная слоистость арматурного проката существенно изменяется в процессе сварочных технологических воздействий. При этом менее значительные изменения

происходят при кратковременном воздействии сварочного тепла или его отводе от стержня с помощью накладок и т.д.. При увеличении количества сварочного тепла, вводимого в зону сварки, изменяются размеры зоны термического влияния, объем металла стержня, в котором происходят изменения первоначальной слоистой структуры и превращения структурных составляющих стали. Первоначально более прочные наружные слои свариваемых стержней становятся после сварочных воздействий менее прочными.

УДК 621.94.084

Клус С.А. Изучение влияния тепловой и радиационной ползучести на НДС полого длинного цилиндра // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Выведены основные формулы для определения НДС бесконечно длинного, полого толстостенного цилиндра под действием неравномерного нагрева и радиационного облучения с учетом тепловой и радиационной ползучести. Численными методами получены зависимости распределения напряжений для термической и радиационно-термической задачи с учетом ползучести. Построены кривые зависимостей напряжений от радиуса. – Ил. 4. Библиогр. 3.

УДК 539.3

Мойсейчик Е.А., Стефанович Р.В., Филатов С.А. Исследование напряженно-деформированного состояния стальной рамы по собственному тепловому излучению материала // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрено применение термометрии при деформировании стальной рамы. Проведенные исследования показали высокую эффективность применения ИК-термографии для изучения деформированного состояния конструктивных элементов в условиях их интенсивного нагружения и подтвердили обратимый характер тепловых процессов при упругих деформациях.

УДК 621.762.4

Якубовский А.Ч., Якубовский Ч.А., Галуза И.М. Исследование осевого уплотнения проволочного тела намотки // Машиностроение. — Мн., 2009. — Вып. 25.

Рассмотрен механизм осевого уплотнения проволочного тела намотки цилиндрической формы. Витки проволоки представлены как спиральная пружина в стадии упругого нагружения и как параллельные цилиндры в стадии пластического. Установлена связь между давлением осевого уплотнения и структурными характеристиками пористого изделия на основе навиваемой проволоки. — Ил. 5, Библиогр. 7.

УДК 539.3

Василевич Ю.В., Неумержицкий В.В., Неумержицкая Е.Ю., Кардович Н.В., Мелешко Л.Е. Исследование прочностных, деформационных и виброизолирующих характеристик резиновых подпальных виброизоляторов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены особенности конструкции резинового подпального виброизолятора, предназначенного для виброизоляции верхнего строения железнодорожного пути метрополитена. Разработана методика оценки деформационных и виброизолирующих характеристик виброизолятора. – Ил. 1. Табл. 1.

УДК 539.3

Василевич Ю.В., Мойсейчик Е.А., Язневич А.М. Конструктивно-технологические факторы прочности арматуры // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены параметрами конструктивной прочности арматуры. Приведена классификация участков арматурного стержня по опасности конструктивно-технологических воздействий. Указаны причины, вызывающие различие между прочностью материалов образцов и изделий.

УДК 669.071

Мойсейчик Е.А. *Макроструктура арматурных стержней // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Исследована макроструктура арматурных стержней производства РУП БМЗ и Челябинского МК. Установлено, что прокат арматурный имеет слоистое строение с 5-ю соосно расположенными слоями, имеющими различные механические свойства, а арматурный стержень можно рассматривать как композитный стержень со слоистой структурой. Величины микротвердости слоев, измеренные в поперечных и продольных сечениях одного и того же стержня, отличаются между собой. – Ил. 7. Табл. 2. Библиогр. 3.

УДК 621.81:539.4

Чигарев А.В., Шукевич Т.В., Ручан М.В. *Метод моделирования и расчета кабины в упруго-пластичной постановке посредством кэ пакета ansys // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Выполнено моделирование и виртуальное испытание кабины методом конечных элементов с помощью инженерного пакета ANSYS. – Ил. 6.

УДК 539

Дикан Ж.Г., Ларченков Л.В. *Механика композиционных структур // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Рассмотрены общие вопросы строения и механики композиционных структур. – Ил. 2, Табл. 2. Библиогр. 11.

УДК 620.178.7:669.14

Хмелев А.А., Галуза И.М. *О единой закономерности разрушения образцов с различной формой надрезов при ударном изгибе // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Исследованы энергетические закономерности разрушения стандартных трёх типов образцов, при ударном изгибе. Получены формулы, позволяющие оценивать значения вязкости разрушения для образцов различной формы надрезов для увязки их значения с поведением материала в конструкции. Сделан шаг в направлении получения характеристик разрушения, не зависящих от условий испытания. – Ил. 1. Библиогр. 2.

УДК 621.81:539.4

Чигарев А.В., Ручан М.В., Шукевич Т.В. *Применение конечно-элементного пакета ANSYS для расчета болтовых соединений // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.*

Выполнен расчет болтового соединения допускаемых напряжений аналитическим методом и с помощью инженерного пакета ANSYS. – Ил. 5.

УДК 539.620.171.178-179

Василевич Ю.В., Мойсейчик Е.А., Язневич А.М. *Применение термометрии при деформировании стальных образцов с конструктивно-технологическими дефектами // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25. – С.*

Рассмотрено применение термометрии при деформировании изделий. Описан механизм теплообразования в образцах с конструктивно-технологическими надрезами. Термография изделий в процессе их нагружений позволила выявлять наиболее нагруженные участки, определять наступление предельного состояния в элементах и узлах изделий.

УДК 621.94.084

Ширвель П.И. Применение функции напряжений Эри в прочностном расчете ТВЭЛов ядерного реактора // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Исследована возможность применения функцию напряжений Эри в определении напряженного состояния топливных стержней тепловыделяющих элементов реактора АЭС. Определены термонапряжения, возникающие в топливном стержне при его эксплуатации. Проведена верификация результатов для предложенного метода расчета. – Ил. 4. Библиогр. 7.

УДК 621.993.187

Шагун В.И., Чарторийский А.В. Влияние геометрии метчика на отклонение половины угла профиля резьбы в стали // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Изложены результаты исследований, выполненные по оригинальной методике, которые выявили, что в зависимости от геометрии метчика отклонения половины угла профиля резьбы М16×2 изменялись от нуля до 2,1° на третьем витке резьбы. Результаты исследований представлены графиками (8 рисунков). Приведены рекомендации по повышению точности профиля резьбы нарезаемые метчиками. – Ил. 9. Библиогр. 2.

УДК 621.9.014.8

Беляева Г.И., Беляев Г.Я., Кочергин А.И., Присевок А.Ф. Исследование влияния физико-механических свойств обрабатываемого материала на величину угла схода стружки // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Приведены результаты исследований влияния физико-механических свойств обрабатываемого материала на величину угла схода стружки. Исследованы зависимости угла схода стружки от твердости, предела прочности, относительных удлинения и сужения, ударной вязкости, амплитуды и частоты колебаний, вызванных ударным воздействием на обрабатываемый материал, частоты собственных колебаний заготовки, параметров тонкой кристаллической структуры металла, доли остаточного аустенита, сил резания R_x , R_y , R_z , R . – Ил. 4. Библиогр. 1.

УДК 621.9

Ажар А.В., Ермакович И.В., Ратько Е.Ф. Исследование параметров работоспособности высокопроизводительных сборных торцовых фрез диаметром 125 и 160 мм при обработке корпусных деталей трактора МТЗ на станках с ЧПУ // *Машиностроение*. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Определены причины и установлены критерии смены сборных торцовых фрез диаметрами 125 и 160 мм в производственных условиях. Проведены исследования характера повреждения и рассеивания величин износа многогранных неперетачиваемых пластин сборных торцовых фрез при обработке серого чугуна в момент съема со станка. Установлено, что на гранях торцовых фрез преобладает износ по задней поверхности. Найден эмпирические распределения предельного износа и поставлены им в соответствие теоретические распределения. Полученные зависимости предложено использовать для определения комплексного критерия работоспособности и прогнозирования стойкости торцовых фрез на производстве. Даны рекомендации организационно-технического и конструкторского плана по повышению параметров работоспособности сборных торцовых фрез. – Ил. 8. Табл. 2. Библиогр. 13.

УДК 621.9.011:517.962.1

Туромша В.И., Довнар С.С., Туми Эль-Мабрук Абуджафер Али. Исследование жесткости продольно-фрезерного станка с подвижным порталом с помощью конечно-элементного моделирования // Машиностроение. – Мн., 2009.

Проведено конечно-элементное исследование упругих деформаций продольно-фрезерного станка. Выявлены жесткости отдельных частей несущей системы станка. Обнаружено, что наиболее податливым объектом является суппорт в сборе с ползуном и шпиндельным узлом. Портал станка обладает хорошей жесткостью. Однако нужна оптимизация расположения под ним опор качения и фундаментных башмаков. Обнаружено сильное влияние вылета ползуна на податливость шпинделя. Даны конструктивные рекомендации по повышению жесткости несущей системы станка. – Ил. 6. Библиогр. 3.

УДК 621.9

Кочергин А.И., Беляева Г.И. Методы оценки обрабатываемости заготовок резанием // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Приводятся результаты сравнительных испытаний по оценке обрабатываемости металлов по единичным и комплексным показателям. Установлено, что последние оказываются более информативными и дают более точные результаты по оценке обрабатываемости. Комплексные показатели характерны тем, что скорости резания VT для исследуемого и эталонного материалов сопоставляются при равных уровнях других единичных показателей обрабатываемости.

УДК 621.94

А.И. Бачанцев, А.А. Ильютки, В.И. Туромша Особенности назначения подачи для современного производства и влияние ее на производительность // Машиностроение: сб. – Минск, 2009. – Вып. 25.

Произведен анализ литературы для выявления тенденции изменения скорости резания и дана сравнительная оценка влияния различных методик назначения режимов резания на производительность предварительной обработки. – Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 621.9

Ажар А.В., Кочергин А.И., Ратько Е.Ф. Оптимизация условий обработки ступенчатых отверстий осевыми инструментами на примере комбинированных зенкеров // Машиностроение. – Мн., 2009. Вып. 25.

Произведен обзор конструкций и возможности использования комбинированных осевых режущих инструментов в массовом и серийном производстве. В результате анализа существующих методов параметрической оптимизации операции механической обработки предложены модели оптимизации режимов резания двухступенчатых осевых комбинированных инструментов по критерию минимума приведенных затрат с учетом обеспечения максимального ресурса инструмента и дополнительных ограничений на кинематику процесса резания. Для двухступенчатых зенкеров разработано программное обеспечение в среде программирования Mathcad, позволяющее на основе итерационной стратегии поиска оптимума методом нелинейного программирования автоматизировать расчет режимов резания и затрат на операцию механообработки. Установлена область рационального использования предложенных моделей оптимизации при эксплуатации двухступенчатых зенкеров, а также степень влияния на минимум приведенных затрат отношения стоимости оборудования и инструмента. При отсутствии положительных результатов оптимизации режимов резания предложены пути поиска оптимальных решений за счет изменения маршрута обработки и конструкции инструмента. – Ил. 5. Табл. 1. Библиогр. 16.

УДК 621.94

А.И. Бачанцев, А.А. Ильютик, В.И. Туромша Особенности назначения подачи для современного производства и влияние ее на производительность // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 25.

Произведен анализ литературы для выявления тенденции изменения скорости резания и дана сравнительная оценка влияния различных методик назначения режимов резания на производительность предварительной обработки. – Ил. 4. Библиогр. 10.

УДК 621.91.01

Балыко И.С., Колесников Л.А., Корниевич М.А. Оценка радиуса скругления кромки режущего инструмента // *Мн.: Машиностроение.* – 2009. – Вып. 25.

Предложен метод оценки минимально возможного радиуса скругления кромки режущего инструмента на основе анализа напряженного состояния вершины режущей кромки. С использованием метода конечных элементов показано, что для круглой протяжки эта величина порядка 20 мкм, для режущих леек – 12 мкм, что близко к фактически наблюдаемым значениям.

УДК 621.923.9

Устинович Д.Ф., Прибыльский В.И. Повышение эффективности обработки плоских поверхностей дисковыми абразивными щетками // *Машиностроение: сб.* – Минск, 2009. – Вып. 24.

Приведены результаты экспериментального исследования влияния основных технологических факторов обработки и зернистости дисковых абразивных щеток на шероховатость поверхности плоских образцов из стали 45. Сделан вывод о возможности управления параметрами качества поверхности посредством выбора рациональных технологических режимов обработки. – Ил. 4. Табл. 1. Библиогр. 4.

УДК 621.9.91 (035)

Присевок А.Ф., Каштальян, Клавсуть П.Н. Повышение эффективности процесса высокоскоростного фрезерования сложнопрофильных деталей // *Машиностроение.* – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены требования к САМ-системам для повышения эффективности высокоскоростного многокоординатного фрезерования, принципы генерации и рекомендации по программированию траекторий для высокоскоростной обработки, влияние вибрации и балансировки технологической системы на параметры точности обработки, что является актуальным для повышения точности и качества обработки сложнопрофильных деталей. – Ил. 4. Библиогр. 6.

УДК 621.7.02

Цыганков Л.Е., Туромша В.И. Прогрессивные методы правки круга при профильном шлифовании // *Машиностроение.* – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены методы правки шлифовального круга при помощи алмазных роликов, включая правку профильными и радиусными роликами.

Приведен опыт применения правки алмазным роликом на РУПП "Станкозавод "Красный борец" (г. Орша). – Ил. 7. Библиогр. 1.

УДК 621.91.04

Данилов В.А. Синтез внутренних связей кинематических групп при проектировании металлорежущих станков // *Машиностроение.* – Мн., 2008. – Вып. 25.

Рассмотрены виды внутренних связей кинематических групп в зависимости от структуры и параметров создаваемых ими исполнительных движений. Дана характеристика типовых кинематических модулей механического, немеханического и комбинированного типов, как основы синтеза внутренних связей. Показано их применение в винторезных цепях станков для обработки винтовых поверхностей переменного шага и цепей обката зубообрабатывающих станков. – Ил. 4. Библ. 6.

УДК 004.912

Романюк Г.Э., Савенко Н.В.. Система пополнения специализированных словарей // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Разработана система пополнения специализированных словарей и осуществлена ее программная реализация. Система представляет собой текстовый анализатор, принимающий на вход заданный текст, а на выходе предоставляющий набор слов для занесения в словарь. – Ил. 9. Библиогр. 3.

УДК 621.923

Фельдштейн Е.Э. Современные методы правки фасонных шлифовальных кругов алмазными правящими инструментами // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены современные методы правки фасонных шлифовальных кругов алмазными правящими инструментами. Использование современных конструкций правящих инструментов, оптимизация траекторий их перемещения с помощью системы ЧПУ профилишлифовального станка существенно повышают эффективность правки. – Ил. 9. – Библиогр. 5.

УДК 621.791

Дечко Э.М., Зюзенок В.П., Р. Heidebrecht Современные способы резки металлов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены современные технологии резки металлов. На основании материалов ведущих зарубежных фирм приводятся области применения при резке сталей различного оборудования, использующего автоген, плазму, узкоструйную плазму. Описаны возможности обеспечения качественных показателей обработки: усредненная шероховатость, допуски по прямоугольности и наклону, точность размера, образование заусенцев, образования окислов. Даны некоторые характеристики оборудования.

УДК 004.738.5(07)

Романюк Г.Э., Романюк С.И., Шелег В.А.. Сравнительный анализ русского и английского текстов с использованием законов Zipf'a // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Проведен сравнительный анализ английского и русского текстов, построены сравнительные графики зависимости количества слов от частоты их встречаемости в тексте, а также построены и проанализированы семантические сети для одних и тех же ключевых слов из английского и русского текстов. – Ил. 5. Библиогр. 2.

УДК 004.67

Колешко В. М., Гулай А. В., Польшкова Е. В., Гулай В. А. Инновационные решения в создании интеллектуальных сенсорных систем для точного земледелия // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Предложен ряд конструктивных, схемотехнических и программных решений в создании интеллектуальных сенсорных систем для реализации технологий точного земледелия.

Проанализированы методологические проблемы использования интеллектуальных сенсорных систем и результатов интеллектуального сенсорного мониторинга почвы на разных этапах сельскохозяйственного производства. Определены задачи и уровни применения нейронных сетей в интеллектуальных сенсорных системах контроля почвы для машинных комплексов точного земледелия. – Ил. 3. Библиогр. 3.

УДК 532.137

Сунка В.Я., Польшкова Е.В., Колешко Л.А. Интеллектуальная сенсорная система измерения вязкости-плотности материалов // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены особенности вибрационных измерительных зондов с изгибными колебаниями для построения сенсорных систем измерения вязкости и плотности материалов. Приведено описание разработанной интеллектуальной сенсорной системы измерения. – Ил. 5. Библиогр. 6.

УДК 612.821.8:331.46

Колешко В. М., Воробей Е. А., Азизов П. М., Худницкий А. А. Интеллектуальная система с анализом мозговых волн на производстве // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Целью проекта является разработка и реализация интеллектуальной программы с анализом мозговых волн на производстве для обеспечения промышленной и энергетической безопасности, защиты человека от опасных и вредных производственных факторов, устойчивого функционирования и контроля промышленных объектов и систем в чрезвычайных и аварийных ситуациях при исключении человеческого фактора. – Ил. 6. Табл. 1. Библиогр. 7.

УДК 543.544:543.8

Колешко В.М., Сунка В.Я., Худницкий А.А. Интеллектуальная система экспресс-контроля моторного топлива высокочастотными методами // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Проанализированы известные лабораторные и хроматографические методы определения качества моторного топлива. Показаны недостатки этих методов для экспресс-контроля на АЗС. Предложены в качестве оптимальных интеллектуальные системы на основе ВЧ и СВЧ методов измерения, при которых ведется измерение активной и реактивной составляющих комплексного импеданса моторного топлива. – Ил. 3. Табл. 1. Библиогр. 6.

УДК 629.78

Колешко В. М., Гулай А. В., Гулай В. А., Ульянов В. Б. Моделирование баллистического квантового наносенсора для контроля высокоскоростных космических микрочастиц // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Выполнено моделирование чувствительных к микроудару сенсорных наноструктур типа металл–диэлектрик–металл (МДМ) на основе сверхтонких диэлектрических пленок. Определены параметры баллистического квантового МДМ-наносенсора для орбитального контроля высокоскоростных техногенных и метеороидных микрочастиц. Установлены зависимости проводимости МДМ-наноструктуры от физико-механических свойств микрочастицы и электрофизических параметров баллистического квантового наносенсора. – Ил. 4. Библиогр. 6.

УДК 621.91.01

Колесников Л.А. Программы для моделирования процесса литья металлов // Мн.: Машиностроение. – 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены основные требования к программным средствам для моделирования процесса литья металлов. Проведен сравнительный анализ функциональности наиболее распространенных пакетов ProCast, MagmaSoft, Полигон и LVMFlow.

УДК 621.001:612.821

Колешко В.М., Воробей Е.А., Снизирев С.А. Управление объектами мозговыми волнами // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Рассмотрены существующие методы декодирования мозговых волн, используемые для разработки нейрокомпьютерных систем управления, описаны современные представления о передаче мыслей на расстояние. – Ил. 3, Табл. 2, Библиогр.7.

УДК 681.586: 621.316.1

Колешко В. М., Сунка В. Я., Качан В. В. Широкополосные беспроводные сети для интеллектуальных сенсорных систем // Машиностроение. – Мн., 2009. – Вып. 25.

Проведен детальный анализ стандартов систем IEEE 802.11 – 802.16 для построения беспроводных сетей интеллектуальных сенсорных систем для передачи информации к потребителю от периферийных устройств в диапазоне расстояний от единиц метров до десятков километров. Рассматриваются вопросы передачи информации и через сеть Интернет. Показано преимущество беспроводных сетей, выполненных на основе стандартов IEEE 802.16, a, b, d. Ил. 2, Библиогр. 6.

Научное издание

МАШИНОСТРОЕНИЕ

РЕСПУБЛИКАНСКИЙ МЕЖВЕДОМСТВЕННЫЙ
СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

ПО МАТЕРИАЛАМ МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
«МАТЕРИАЛЫ, ОБОРУДОВАНИЕ И РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ»

06–10 апреля 2009 года

Выпуск 25

Ответственный за выпуск А.И. Бачанцев
Технический редактор О.В. Дубовик
Компьютерная верстка и дизайн обложки ВЦ МСФ

Подписано в печать 29.03.2010.

Формат 60×84¹/₈. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 46,15. Уч.-изд. л. 18,04. Тираж 100. Заказ 17.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.